



Technologie
Region
Karlsruhe



RE²source Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

 **Bioökonomie**
Baden-Württemberg



Autorinnen und Autoren

Kapitel 1: Einführung

Lenz Sulzer, Dr. Petra Jung-Erceg, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Kapitel 2: Trends in der Bioökonomie

Dr. Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Kapitel 3: Geografische Charakterisierung der TechnologieRegion Karlsruhe

Dr. Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI,
Lenz Sulzer, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Kapitel 4: Akteursanalyse Wissenschaft, Forschung und Entwicklung, Bildung

Dr. Bärbel Hüsing, Gabriel Däßler, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI,
Lenz Sulzer, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Kapitel 5: Akteursanalyse Wirtschaft

Dr. Bärbel Hüsing, Gabriel Däßler, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI,
Lenz Sulzer, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Kapitel 6: Kommunale Akteure

Lenz Sulzer, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH,
Dr. Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Kapitel 7: Relevanz für die TechnologieRegion Karlsruhe

Dr. Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Kapitel 8: Stoffstromanalyse zur Identifizierung und Quantifizierung der biogenen Reststoffströme

Marei Brose, Christiane Chaumette, Dr. Marius Mohr, Dr. Brigitte Kempter-Regel, Fraunhofer-Institut
für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Kapitel 9: Roadmap der Bioökonomiestrategie RE²source

Lenz Sulzer, Dr. Petra Jung-Erceg, Viktoria Lei, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH,
Dr. Simone Kimpeler, Dr. Martin J. Kirstgen, Dr. Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI

Kapitel 10: Ausblick

Lenz Sulzer, Dr. Petra Jung-Erceg, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Grußwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Entwicklung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Wirtschaft ist die zentrale Aufgabe der TechnologieRegion Karlsruhe GmbH als Knotenpunkt der Wirtschafts- und Innovationsförderung in der gleichnamigen Region. In einer Zeit, in der Ressourcenknappheit und Klimawandel unser Handeln maßgeblich beeinflussen, stehen wir mit unseren 34 Gesellschaftern vor der Notwendigkeit, neue Wege der Wertschöpfung zu entwickeln.

Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, bei diesem Wandel eine Vorreiterrolle einzunehmen. Unser gemeinsames Ziel ist es, die Rohstoffresilienz unserer Region zu erhöhen und gleichzeitig innovative, umweltfreundliche Technologien zu fördern, die wirtschaftlich und ökologisch nachhaltig sind.

Die Bioökonomie als integraler Bestandteil dieser Transformation bietet uns die Chance, Roh- und Reststoffe effizient für Produkte und Prozesse zu nutzen und so die Rohstoffwende mit nachhaltiger Wertschöpfung zu verbinden. Wir besitzen das Potenzial, eine Modellregion für die Bioökonomie zu werden – ein Ort, an dem neue Verfahren und Produkte entwickelt und zur Marktreife gebracht werden.

Durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Hand können wir hier Lösungen wachsen lassen, die unsere alltäglichen Wirtschaftsprozesse ressourcenschonend gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit unserer Region stärken, indem zukunftsfähige Arbeitsplätze geschaffen werden.

In den vergangenen Monaten haben wir intensiv daran gearbeitet, die Potenziale der Bioökonomie in der TechnologieRegion Karlsruhe zu erfassen und zu fördern. Das Ergebnis der engagierten Zusammenarbeit zahlreicher Akteurinnen und Akteure ist eine umfassende Strategie, die konkrete Schwerpunktbereiche und Maßnahmen aufzeigt, um die bioökonomische Transformation in unserer Region zu beschleunigen.

Ich möchte mich herzlich bei allen bedanken, die sich aktiv an der Entwicklung dieser Strategie beteiligt haben und es auch zukünftig tun werden. Ihr Engagement und Ihre Expertise sind der Schlüssel zum Erfolg der TechnologieRegion Karlsruhe.

Weiterhin danke ich dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die gezielte Förderung der Strategieentwicklung sowie den Fraunhofer-Instituten für System- und Innovationsforschung ISI und für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB für die wertvolle fachliche Begleitung.

Ich freue mich darauf, gemeinsam mit Ihnen eine nachhaltige und innovative Zukunft der TechnologieRegion Karlsruhe zu gestalten und lade Sie herzlich ein, Teil unseres aktiven Bioökonomie-Netzwerks zu werden.

Mit den besten Grüßen



Ihr
Jochen Ehlgötz



Jochen Ehlgötz
Geschäftsführer
TechnologieRegion Karlsruhe GmbH

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
Glossar	5
Executive summary	5
1 Einführung	9
1.1 Zielstellung des Projektes & Status Quo	10
1.2 Projektübersicht	10
2 Trends in der Bioökonomie	13
2.1 Bioökonomie als nächster Wirtschaftszyklus.....	13
2.2 Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen	13
2.3 Rohstoffwandel: Konsum fossiler Rohstoffe deutlich senken – Neue Rohstoffquellen erschließen	13
2.4 Nutzung kommunaler und regionaler biogener Rest- und Abfallstoffe als Rohstoff für die Bioökonomie	14
2.5 Nutzung kommunaler und regionaler Abwasserströme als Rohstoff für die Bioökonomie...	14
2.6 Nutzung von CO ₂ als Rohstoff für die Industrie	15
2.7 Bioökonomie-Infrastrukturen	15
2.8 Urbane Landwirtschaft.....	15
2.9 Digitalisierung in der Bioökonomie	16
2.10 Kompetenzen, Qualifikationen & Fachkräfte für die Bioökonomie	16
3 Geografische Charakterisierung der TechnologieRegion Karlsruhe	17
4 Akteursanalyse Wissenschaft, Forschung und Entwicklung, Bildung	18
4.1 Übersicht	18
4.2 Karlsruher Institut für Technologie KIT	19
4.3 Fraunhofer-Institute	22
4.3.1 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT	22
4.3.2 Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB	22
4.3.3 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.....	22
4.4 Landwirtschaftliches Technologiezentrum LTZ Augustenberg	23
4.5 Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel	23
4.6 TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser	23
4.7 Duale Hochschule Baden-Württemberg DHBW Karlsruhe	24
4.8 Hochschule Karlsruhe HKA.....	24
4.9 Rheinland-Pfälzische Technische Universität RPTU Kaiserslautern-Landau.....	24
4.10 Biotechnologische Gymnasien BTG.....	25
4.11 Berufsfachschulen und Ausbildungszentren	25

5	Akteursanalyse Wirtschaft	26
6	Kommunale Akteure.....	28
7	Relevanz für die TechnologieRegion Karlsruhe.....	29
7.1	Schlussfolgerungen für das Regionalprofil.....	29
8	Stoffstromanalyse zur Identifizierung und Quantifizierung der biogenen Reststoffströme	32
8.1	Stoffstromanalyse	32
8.2	Stoffstromanalyse der Stadt- und Landkreise.....	36
8.2.1	Stadtkreis Baden-Baden	36
8.2.2	Stadtkreis Karlsruhe	37
8.2.3	Landkreis Karlsruhe.....	37
8.2.4	Landkreis Rastatt.....	40
8.3	Verwertung und Nutzungspotenziale der Stoffströme.....	40
8.3.1	Verwertung	40
8.3.2	Nutzungspotenziale.....	42
8.3.3	Qualitative Bewertung der Abfallfraktion hinsichtlich Verwertung.....	44
8.4	Infrastrukturen für die Biomassebehandlung.....	46
8.5	Interviews zur qualitativen Bewertung	48
8.5.1	Durchführung der Interviews	48
8.5.2	Wichtige Erkenntnisse aus den Interviews	49
8.5.3	Zusammenfassung der Nutzungspotenziale	50
9	Roadmap der Bioökonomiestrategie RE²source	51
9.1	Strategieelemente	51
9.2	Übersicht: Handlungsfelder, Ziele und Maßnahmen	52
9.3	Maßnahmen	52
10	Ausblick.....	59
	Literaturverzeichnis.....	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise im Projekt „RE ² source“	11
Abbildung 2: Rest- und Abfallströme in der TRK-MO 2021.....	33
Abbildung 3: Übersicht der Rest- und Abfallströme in der TRK-MO 2021.....	34
Abbildung 4: Abfallhierarchie nach § 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes KrWG	42
Abbildung 5: Aufkommen und Verwertung von Abfällen aus der Biotonne und Grünabfällen in der TRK-MO 2021	45
Abbildung 6: Anlagen zur Umsetzung biogener Roh- und Reststoffe in der TRK	47
Abbildung 7: Strategieelemente der Bioökonomiestrategie der TechnologieRegion Karlsruhe.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Thematische Aufschlüsselung bioökonomie-relevanter FuE-Projekte in der TRK-MO, die seit 2013 mit Bundesmitteln gefördert wurden	18
Tabelle 2: SWOT-Analyse für Bioökonomie in der TechnologieRegion Karlsruhe	30
Tabelle 3: Abfallfraktionen der TRK-MO 2021.....	34
Tabelle 4: Primärabfallaufkommen in der TRK-MO 2021	38
Tabelle 5: Wertstoffaufkommen in der TRK-MO 2021	39
Tabelle 6: Verwertung/Deponie Primärabfallaufkommen 2021 in der TRK-MO	40
Tabelle 7: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 nach Entsorgungsart.....	41
Tabelle 8: Erläuterungen zum Aufbau der Übersichtstabelle.....	52

Glossar

Baumassenabfälle	Bauschutt, Straßenaufbruch, Bodenaushub
BAVA	Bioabfallvergärungsanlage
BHKW	Biomasse-Blockheizkraftwerk
BÖ	Bioökonomie
Distributed-Ledger-Technologien	Dezentrale Datenspeichersysteme in denen die Dateneintragung und der Abgleich der Datenkonsistenz von verschiedenen Knoten im Netzwerk aus erfolgen kann.
E	Einwohner
Ea	Einwohner und Jahr
FuE	Forschung und Entwicklung
Omics-Technologien	Moderne wissenschaftliche Methoden, um biologischen Daten, wie Gene, Proteine oder Stoffwechselprodukte zu erfassen und analysieren. Dies hilft biologische Prozesse besser zu verstehen und zu nutzen. Beispiele sind Genomics (Analyse von Genen), Proteomics (Analyse von Proteinen), Metabolomics (Analyse von Stoffwechselprozessen).
Primärabfall	Umfasst Hausmüll, Sperrmüll, Grünabfälle und Abfälle aus der Biotonne, Gewerbe- und Baustellenabfälle, Wertstoffe, Problemstoffe, Elektroaltgeräte, Baumassenabfälle und sonstige Abfälle (umfasst Klärschlamm, Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehricht, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungsstreitkräften und asbesthaltige Abfälle) (Statistisches Landesamt BW, 2022)
kg/E/a	Kilogramm pro Einwohner und Jahr
t	Tonne
TM	Trockenmasse
TRK	TechnologieRegion Karlsruhe
TRK-MO	TechnologieRegion Karlsruhe – Mittlerer Oberrhein
TRK-NA	TechnologieRegion Karlsruhe – Nordelsass
TRK-PA	TechnologieRegion Karlsruhe – Südpfalz

Executive summary

In einem einjährigen, stakeholder-basierten, partizipativen Ansatz wurde die **Bioökonomiestrategie RE²source für die TechnologieRegion Karlsruhe** entwickelt. Damit werden die bisherigen Schwerpunkte Energie, Mobilität und Digitalisierung der TechnologieRegion um den Schwerpunkt Bioökonomie ergänzt.

Unter Bioökonomie versteht man eine „Wirtschaftsweise, die durch die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Prinzipien Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschafts- und Gesellschaftssystems bereitstellt und nutzt“. Bioökonomie ist eine innovationspolitische Priorität auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Die Entwicklung der Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe wurde durch das Ministerium für Umwelt, Klima- und Energiewirtschaft Baden-Württemberg finanziell gefördert. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass das Agieren regionaler Akteure und die Mobilisierung regionaler Kompetenzen notwendig ist, um eine nachhaltige Bioökonomie zu realisieren.

Die fachliche Basis für den Strategieentwicklungsprozess in der TechnologieRegion Karlsruhe lieferten eine **Analyse von Entwicklungstrends in der Bioökonomie**, eine **Akteursanalyse** zur Identifizierung regionaler Akteure in Wissenschaft, Unternehmen und Kommunen, die aktuell bereits in der Bioökonomie aktiv sind bzw. künftig aktiv werden könnten und eine **Stoffstromanalyse** zur Beschreibung regionaler Roh- und Reststoffpotenziale. Die Ergebnisse wurden in Form einer **SWOT-Analyse** aufbereitet.

Stärken der TechnologieRegion Karlsruhe liegen in **Forschung und Entwicklung, Bildung und Innovation**. Sie verfügt über eine breit aufgestellte Forschungs- und Entwicklungslandschaft, deren Bioökonomie-Aktivitäten ein breites Themenspektrum abdecken und von der Grundlagenforschung bis zu Pilot- und Demonstrationsentwicklungen reichen.

Die **Wirtschaftsstruktur** der TechnologieRegion Karlsruhe wird vom **Dienstleistungssektor** sowie der **Automobilindustrie** mit ihren vorgelagerten Branchen und Zulieferern dominiert. Wirtschaft und Wissenschaft kooperieren bereits erfolgreich in etablierten regionalen Clustern und Netzwerken in den Branchen **Automotive/Mobilität, IKT/Digitalisierung, Energie/Umwelttechnologien, Sensorik, Nanotechnologie**. Deren Vernetzung mit der Bioökonomie lässt große Synergien erwarten. Somit liegen in FuE-Einrichtungen und Unternehmen hervorragende Kompetenzen in den Lebens-, Natur- und Ingenieurwissenschaften, Automobil- und Maschinenbau, Herstellung, Installation und Reparatur von Anlagen, Maschinen und Ausrüstungen aller Art sowie in der Digitalisierung vor. Genau diese Kompetenzen sind angesichts der zunehmenden Industriereife von Bioökonomie-Innovationen für das Scale-up, für Produktionsanlagen, Logistikkonzepte und die Prozessdigitalisierung essenziell.

Die Analyse der Stoffströme zeigte, dass in der TechnologieRegion Karlsruhe (Mittlerer Oberrhein) im Jahr 2021 207.000 t Grünabfall und Biotonnenabfall sowie 27.000 t kommunaler Klärschlamm anfielen. Laufende Aktivitäten zur Erhöhung der Erfassungsquote und der Qualität biogener Reststoffe eröffnen Potenziale zu einer höherwertigen stofflichen Verwertung bzw. zur Kaskadennutzung von Teilströmen. Die größte Mineralö Raffinerie Deutschlands mit Standort in der TechnologieRegion hat den Transformationsprozess zur Defossilisierung begonnen, so dass hier mit grünem Wasserstoff, biobasierten Feedstocks und der Umsetzung von CO₂ in chemische Verbindungen potenzielle Schnittstellen zur Bioökonomie und biotechnischen CO₂- Nutzung vorliegen.

Bei den kommunalen Akteuren der TechnologieRegion Karlsruhe besteht eine große Offenheit und Aufgeschlossenheit gegenüber der Bioökonomie und Interesse und Motivation, sich weiter mit Bioökonomie zu befassen.

Somit bietet die Bioökonomie für die TechnologieRegion Karlsruhe unter Nutzung der regionalen Stärken **Chancen**, aktuell (noch) starke Branchen, die jedoch dem technologischen und strukturellen Wandel unterworfen sind, zukunftsfest aufzustellen. Eine kreislauforientierte Bioökonomie kann zudem Beiträge zur Sicherung der krisenfesten Versorgung mit Energie, Wasser und Rohstoffen, zu einer umwelt- und klimagerechten Entsorgung sowie zur Erfüllung der sich verschärfenden Anforderungen bei der Roh- und Reststoffnutzung und der Emission von Klimagasen leisten.

Zur Nutzung dieser Chancen gilt es, noch bestehende **Schwächen** zu überwinden. Insbesondere entspricht der Bekanntheitsgrad und die Sichtbarkeit als forschungs- und innovationsstarker Standort für Bioökonomie-FuE und als Vorreiter bei der Entwicklung von Bioökonomie-Technologien noch nicht den Kompetenzen und Potenzialen der Region. Daher besteht Bedarf, FuE-Akteure aus der Bioökonomie untereinander und mit Unternehmen und kommunalen Akteuren als potenzielle Nutzer und Anwender von Bioökonomie-Innovationen zu vernetzen und Kooperationspotenziale auszuschöpfen. Auch müssen FuE-Einrichtungen und Unternehmen im Bereich Ingenieurwesen, Maschinen- und Anlagenbau sowie Digitalisierung dabei unterstützt werden, die Bioökonomie als strategisch wichtiges Anwendungsfeld ihrer Kompetenzen zu erschließen. Hierbei kann auf etablierte und bewährte Strukturen, Zuständigkeiten und Aktivitäten für die bereits hervorragend funktionierende Kooperation von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik sowie auf die bestehenden Cluster in der TechnologieRegion aufgebaut werden.

Mit der **Bioökonomiestrategie RE²source** wird eine Roadmap vorgelegt, wie der Kompetenzschwerpunkt Bioökonomie in der TechnologieRegion Karlsruhe auf- und ausgebaut werden soll. Im Strategieentwicklungsprozess mit über 60 Akteuren aus Kommunen, Wirtschaft und Wissenschaft wurde als **Ziel** erarbeitet, die TechnologieRegion national und international als Modellregion einer kreislaforientierten, nachhaltigen Bioökonomie zu positionieren, die ihren Schwerpunkt auf die gemeinsame Erforschung, Entwicklung und Überführung in die industrielle Anwendung von Verfahren und Produkten legt. Die Bioökonomiestrategie RE²source umfasst sechs Strategieelemente. Für jedes Strategieelement wurden konkrete Handlungsfelder, Ziele und ein Maßnahmenpool festgelegt:

Im **Strategieelement Forschung und Entwicklung** verfolgt die TRK als forschungsstarke Region das Ziel, auf hohem internationalen Niveau Bioökonomie-Forschung und Entwicklung von der Grundlagenforschung bis zur Demonstrationsreife zu betreiben, die auf Nachhaltigkeit ausgerichtet ist. Zugleich will die TRK damit national und international einen hohen Bekanntheitsgrad und eine hohe Sichtbarkeit als Standort für hervorragende Bioökonomie-FuE und als Vorreiter bei der Entwicklung von Bioökonomie-Technologien erreichen.

Im **Strategieelement Infrastruktur** sollen die infrastrukturellen Voraussetzungen für eine Vorreiterrolle bei der Bioökonomie-FuE und als Bioökonomie-Wirtschaftsstandort geschaffen werden. Dies erfordert exzellente Forschungsinfrastrukturen von der Grundlagenforschung bis zur Demonstration, die Bereitstellung der Rohstoffe in hoher Qualität (Biomasse, biogene Reststoffe, CO₂, H₂), effiziente Bereitstellung und -nutzung regenerativer Energie, eine „Region der kurzen Wege“, Digitalisierung und moderne industrielle Produktionsanlagen.

Im **Strategieelement Bildung** ist es das Ziel, allen gesellschaftlichen Gruppen Bioökonomie-Bildungsmaßnahmen anzubieten, die dem jeweiligen Bildungsniveau und Informationsbedarf spezifisch angepasst sind. Darüber hinaus sollen Fachkräfte für die wissensintensive Entwicklung und Verbreitung von innovativen Produkten und Prozessen aus- und weitergebildet werden.

Im **Strategieelement Wirtschaftsstandort** ist es das Ziel, in der TRK eine Bioökonomie-Kreislaufwirtschaft anhand von Beispielen erfolgreich umzusetzen und nachhaltige Wertschöpfung mit innovativen Produkten und Prozessen zu erzielen. Zudem soll die Verfügbarkeit von und die Nachfrage nach Bioökonomieprodukten in der TRK erhöht werden. Dies erfordert eine enge Abstimmung und Kooperation zwischen Akteuren der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Kommunen.

Im **Strategieelement Selbstverständnis** soll Bioökonomie im Selbstverständnis der Region verankert und dieses Selbstverständnis auch aktiv nach außen vermittelt werden.

Im **Strategieelement Lebensqualität** soll das Potenzial der Bioökonomie genutzt werden, um eine nachhaltige urbane Kreislaufwirtschaft zu etablieren, die zu einer hohen Lebensqualität dieser und auch künftiger Generationen beiträgt.

Das strategische Vorgehen der TRK GmbH umfasst die Schritte Aufmerksamkeit für die Bioökonomie steigern, Vernetzung der Akteure in der Region und mit führenden Bioökonomieregionen in Deutschland und Europa, Synergien mit den TRK-Schwerpunkten Mobilität, Energie und Digitalisierung erschließen bzw. intensivieren, Profil als Bioökonomieregion nach innen und außen schärfen, Innovation und Technologietransfer von Bioökonomie-Lösungen stärken, und Roh- und Reststoffe in der TechnologieRegion erschließen und Kreisläufe schließen. Im Jahr 2024 wird die TRK GmbH die folgenden konkreten Maßnahmen umsetzen:

- Vorstellung der Bioökonomiestrategie, Ergebnisse und regionaler Beispiele am 22. April 2024 sowie bei weiteren Intermediären und in den TRK-Gremien.
- Informationsveranstaltungen zu technischen Ausbaupotenzialen von bestehenden Abwasser- oder Abfallbehandlungsanlagen – unter anderem der Besuch der G2H Bioabfallvergärungsanlage in Groß-Gerau am 24. April 2024.
- Workshop mit kommunalen Unternehmen zur Optimierung der Biomasse-Verwertungskontingente innerhalb der TechnologieRegion Karlsruhe am 13. September 2024.
- Besuche von innovativen und bedeutsamen Bioökonomie-Unternehmen in der TRK.
- Veranstaltung mit internationalen Fachkräften zur Bioökonomie.

1 Einführung

Aktuell basieren die meisten Wertschöpfungsprozesse überwiegend auf fossilen Energie- und Rohstoffquellen und verlaufen weitgehend linear. So werden der Umwelt einerseits Rohstoffe und Ressourcen entnommen und fallen am Ende eines Lebenszyklus in der Regel als nicht- oder minderwertig nutzbare Abfälle und Emissionen an. Zusätzlich dazu werden im Produktions- und Nutzungsverlauf zahlreiche Ressourcen aufgewendet, um Güter zu transportieren und Rohstoffe für die Verarbeitung aufzuschließen, umzuarbeiten, diese zu veredeln und Produkteigenschaften zu verändern. Diese durch den übermäßigen Rohstoffeinsatz und umweltschädliche Emissionen gekennzeichnete Nutzung natürlicher Ressourcen macht Lösungen für nachhaltigere Produkte und effizientere Prozesse notwendig.

Die Bioökonomie verspricht durch die Nutzung biotechnischer und chemisch-technischer Verfahren sowie innovativer bioinspirierter Prozesse wesentliche Optimierungspotenziale für eine nachhaltige Wertschöpfung. So soll die Biologisierung der Wertschöpfung durch das Zusammenspiel von Biologie, Ingenieurwissenschaften und Informationstechnik für eine Rohstoffwende sorgen, in der vermehrt nicht-fossile, biogene Roh- und Reststoffe eingesetzt und in Kreisläufen geführt werden. Die damit angestrebte Wirtschaftsweise wird im Weiteren als Bioökonomie, der Transformations- und Weiterentwicklungsprozess als Bioökonomisierung bezeichnet.

Mit der Bioökonomisierung sind die folgenden Erwartungen für die TechnologieRegion Karlsruhe (TRK) verbunden:

1. Die nachwachsenden Rohstoffe und biogene Neben- und Reststoffe werden vermehrt als Ausgangsmaterial für Produkte und Prozesse genutzt. So wird die Rohstoffversorgung der Wirtschaft in der TRK regionalisiert und diversifiziert – die Rohstoff-Resilienz wird erhöht.
2. Die energische und rohstoffliche Effizienz von Produktionsprozessen wird durch Nutzung optimierter biologischer Prozesse und bio-basierten Wissens gesteigert. Biotechnische und chemisch-technische Verfahren für den Aufschluss und die Aufbereitung von Rohstoffen und die Synthese von Produkten ermöglichen eine nachhaltige Produktion.
3. Biotechnische und chemisch-technische Verfahren zur Behandlung von Reststoffen (Abluft, Abwasser und Abfall) ermöglichen ihre Aufbereitung für eine hochwertige, stoffliche Rückführung in den Nutzungszyklus. Das Nutzungspotenzial von Abfällen wird gesteigert, während nicht oder minderwertig verwertbare Mischfraktionen und umwelt-negative Emissionen reduziert werden.
4. Durch systematische Verwertung und Rückführung von Roh- und Reststoffen für die stoffliche Aufbereitung und Einrichtung von Koppelnutzungen (bspw. von Bio-Prozesswärme) wird das Wertschöpfungspotenzial bioökonomischer Produkte und Prozesse optimiert. Der Wert von Roh- und Reststoffen wird besser ausgeschöpft und verbleibt in der TRK.
5. Innovative bioökonomische Entwicklungen bieten das Potenzial, um wichtige Anteile am Zukunfts-Leitmarkt ‚grüne Technologien‘ und Produkte zu entwickeln¹. Im wirtschaftlichen Transformationsprozess schafft die Bioökonomisierung für die Unternehmen der TRK als Wissens- und Innovationsregion neue Märkte, Mehrwerte und Synergien.

¹) VDI TZ 2024 Positionspapier der Dialogplattform Industrielle Bioökonomie

1.1 Zielstellung des Projektes & Status Quo

Die Bioökonomie ist als eigenständiger Begriff relativ neu und wird vermehrt seit 2010 als eigenständiger Ansatz verfolgt. Unabhängig hiervon bestehen in der TRK schon länger einzelne Kompetenzen und Aktivitäten, die der Bioökonomie zuzurechnen sind. Im Rahmen der „Strategieentwicklung für die TechnologieRegion Karlsruhe 2030“ von 2019 ist die Bioökonomie als ein wichtiges Trendthema für die Zukunft erstmals explizit benannt worden. Seit 2020 arbeitet die TechnologieRegion Karlsruhe GmbH (TRK GmbH) verstärkt an der Förderung der Bioökonomie – unter anderem durch die Ausschreibung des Innovationspreises NEO 2020 zu „Innovationen in der Bioökonomie“ sowie durch die Bildung eines Akteursnetzwerkes der Bioökonomie. Dies erfolgte im Rahmen zweier durch das Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg geförderter Fach- und Clusterinitiativen in den Jahren 2022, zu biobasierten Fasern und 2023, zur biobasierten Bauwirtschaft. Die Resonanz auf diese ersten Aktivitäten war durchweg sehr positiv und lässt weitere Potenziale erahnen. Für eine systematische Weiterentwicklung der Bioökonomie, insbesondere auch in Zusammenarbeit mit den kommunalen Akteuren der TRK, fördert das Ministerium für Umwelt, Klima- und Energiewirtschaft Baden-Württemberg die Entwicklung einer „Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe“.

Mit der Erarbeitung der „Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe – RE²source“ wird die Transformation hin zu einer nachhaltigen, biobasierten Kreislaufwirtschaft in der TechnologieRegion Karlsruhe gemeinsam mit Kommunen, Unternehmen und Wissenschaftsinstitutionen vorangebracht und konkretisiert, um die obenstehenden Erwartungen und Potenziale zu realisieren. Die Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe orientiert sich dabei an der Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg (LSNB BW) als Leitlinie und unterstützt die Umsetzung der Ziele auf regionaler und lokaler Ebene.

Wichtige Bausteine für die Bioökonomisierung und damit Ziele des Strategieprozesses sind: (1) die Schaffung eines einheitlichen, konkretisierten Rahmens für die TRK, welcher die Potenziale und Bedarfe der einzelnen Teilräume und Akteursgruppen differenziert anspricht, (2) die Ansprache, Benennung und Einbindung von Akteuren in den verantwortlichen Stellen zur Sensibilisierung für Potenziale und Erhebung notwendiger Bedarfe für die Realisierung der Bioökonomie-Potenziale, (3) die Entwicklung einer strukturierten Maßnahmen-Roadmap, (4) die Sichtbarmachung der Bioökonomie und Bereitstellung von Informationen für die Öffentlichkeit und zukünftig zu gewinnende Akteure, (5) die gemeinsame Umsetzung mit dem geschaffenen regionalen Netzwerk und den jeweilig betreffenden Akteuren, um den Reifegrad von Entwicklungen voranzutreiben und die Bioökonomie in der TRK zu skalieren.

1.2 Projektübersicht

Der Strategieentwicklungsprozess wurde im Februar 2023 angestoßen. Im Sommer 2024 wurde die Strategie fertiggestellt. Anschließend sind eine fortwährende Evaluation und Weiterentwicklung der Strategie sowie der zugehörigen Roadmap vorgesehen. Für die Entwicklung der Bioökonomiestrategie beauftragte die TRK GmbH das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI sowie das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB mit der wissenschaftlichen Begleitung und Untersuchungen zum Standort TRK.

Um die Grundlage für einen partizipativen und interaktiven Strategieprozess zu schaffen, wurden mehrere Analysen durchgeführt, welche die regionale Verortung von Aktivitäten und Entwicklungen der Bioökonomie, bestehende Aktivitäten, Kompetenzen und stoffliche Verwertungspotenziale in der Region zusammenzuführen. Die gesamtheitliche Potenzialanalyse beinhaltet eine **Trendanalyse** zur Einordnung und Positionierung der TRK, eine **Akteursanalyse** zur Identifizierung regionaler Kompetenzen und eine **Stoffstromanalyse** zur Beschreibung regionaler Reststoffpotenziale.

Parallel zu den Analysen wurden zentrale Akteure in Kommunen, Wirtschaft und Wissenschaft identifiziert und angesprochen, um die verantwortlichen, zuständigen Stellen und Personen einzubinden. **Abbildung 1** gibt eine Übersicht über die durchgeführten Schritte innerhalb des Projekts RE²source.



Abbildung 1: Vorgehensweise im Projekt „RE²source“

Eine **Potenzialanalyse** mit den nachstehend beschriebenen Einzeluntersuchungen diente dazu, einen geeigneten **fachlichen Input** für den Strategieprozess bereitzustellen und eine **Potenzialbewertung** für die TRK durchzuführen. Damit wurde eine Bestandsaufnahme der Bioökonomie in der TechnologieRegion Karlsruhe erarbeitet.

Für die industrielle und urbane Bioökonomie relevante **Entwicklungstrends** wurden ausgewählt und hinsichtlich Ihrer Bedeutsamkeit für die TRK sowie bestehenden Anknüpfungsstellen und Kompetenzen eingeordnet. Dies erfolgte sowohl auf Basis der Bioökonomiekenntnis und einschlägigen Vorarbeiten des Fraunhofer-ISI-Projektteams als auch durch die Auswertung aktueller wissenschaftlicher Literatur und einschlägiger Studien.

Für die **Akteursanalyse** wurden relevante Akteure in der Region aus den Gruppen der kommunalen Einrichtungen, der Forschungseinrichtungen, der Unternehmen und Wirtschaftscluster, der Verbände und Kammern sowie der Zivilgesellschaft identifiziert und charakterisiert. Dies erfolgte auf Basis des Akteursnetzwerkes der TRK GmbH, Recherchen im Förderkatalog des Bundes² und in der dun&bradstreet Firmen-datenbank sowie durch gezielte Internetrecherchen. Zusätzliche Akteure wurden im Rahmen der Analysen und Interviews, die mit Akteuren in der Region geführt wurden, sowie im Rahmen der Strategieworkshops ermittelt.

Die Ergebnisse der Trend- und Akteursanalysen wurden in Form einer **SWOT-Analyse** aufbereitet. Sie bildeten den fachlichen Input in den Strategieprozess und spannen insgesamt einen Optionsraum für die urbane Bioökonomie in der TechnologieRegion auf.

Zusätzlich wurde eine **Stoffstromanalyse** durchgeführt, für die das Abfallaufkommen aus Statistiken des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg für das Jahr 2021 und für das Klärschlammaufkommen die Abfallbilanz 2021 ausgewertet wurden. Aus der Stoffstromanalyse wurden Potenziale für eine weitergehende, höherwertige Verwertung von Abfällen abgeleitet.

²⁾ Förderkatalog (bund.de)

Zur Einholung der qualitativen Informationen und zur Plausibilisierung der Potenzialanalyse führten TRK GmbH und Fraunhofer IGB leitfadengestützte Interviews mit Akteuren in der Region durch (Kommunen: 12, Unternehmen: 10, Forschung: 6 | Stand 02/24). In den geführten Interviews wurde ermittelt, inwieweit die Entwicklungstrends bereits Gegenstand von Strategien, Plänen und Aktivitäten regionaler Akteure sind bzw. ein Potenzial darstellen.

Die Stoffstromanalyse beschränkt sich, begründet durch die unterschiedliche Datenerhebung der öffentlichen Quellen, auf den baden-württembergischen Teil der TRK, welcher dem Gebiet der Planungsregion Mittlerer Oberrhein entspricht (TRK-MO). Dieser umfasst den Stadtkreis Baden-Baden, den Stadtkreis Karlsruhe, den Landkreis Karlsruhe und den Landkreis Rastatt. Die weiteren Analysen, insbesondere die ExpertInnen-Interviews, beinhalten in Teilen ebenfalls die weiteren Teilräume der TRK in der Südpfalz (TRK-PA) und dem Nordelsass (TRK-NA) und sollen im weiteren Prozess fortgeführt werden.

Die Strategieentwicklung erfolgte in einem stakeholderzentrierten, partizipativen Ansatz. In den Prozess wurden insgesamt über 60 Vertreter:innen der assoziierten kommunalen Projektpartner, Vertreter:innen der Forschungsinstitutionen, Unternehmen, Kammern und relevante Vertreter:innen zivilgesellschaftlicher Gruppen der Region eingebunden. Fachliche Kompetenz, Zuständigkeit und entscheidungs- bzw. durchführungsrelevante Hierarchieebene waren Auswahlkriterien.

Der Strategieprozess umfasste drei moderierte, interaktive Veranstaltungen:

- Auftaktworkshop am 15. Juni 2023: Der Auftaktworkshop diente der Information der 38 Stakeholder-VertreterInnen über Bioökonomiepotenziale, der Motivation zur aktiven Beteiligung und Information zu den Zielen und dem Ablauf des Strategieprozesses. In interaktiver Gruppenarbeit wurden die Erwartungen der Stakeholder, ihre derzeitigen Aktivitäten und künftigen Bedarfe erhoben. Darauf aufbauend wurden mögliche Handlungsfelder in der TRK identifiziert und konkretisiert.
- Strategieworkshop am 26. September 2023. Im Strategieworkshop wurden die Handlungsfelder, die strategischen Ziele innerhalb der Handlungsfelder sowie Maßnahmenvorschläge zur Erreichung der Ziele in interaktiver Gruppenarbeit durch die 36 Stakeholder-VertreterInnen erarbeitet. Die Ergebnisse der Veranstaltungen wurden dokumentiert und den jeweiligen Teilnehmenden zur Verfügung gestellt.
- In projektinternen Arbeitssitzungen wurden die Ergebnisse aus den Workshops und Interviews strukturiert aufbereitet, Redundanzen beseitigt und eine kohärente Liste von Maßnahmen erstellt, die zum Erreichen der jeweiligen kurz-, mittel- und langfristigen Ziele erforderlich sind (Roadmap). Unter den Maßnahmen wurden prioritäre Schritte ausgewiesen, die noch während der Projektlaufzeit begonnen werden.

Die öffentliche Präsentation der Ergebnisse des Strategieprozesses fand am 22. April 2024 statt.

2. Trends in der Bioökonomie

Im Folgenden werden die aktuellen und zukünftigen Entwicklungen, die die Bioökonomisierungsprozesse maßgeblich beeinflussen, dargestellt.

2.1 Bioökonomie als nächster Wirtschaftszyklus

Bioökonomie ist eine Wirtschaftsweise, die durch die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Prinzipien Produkte, Verfahren und Dienstleistungen im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschafts- und Gesellschaftssystems bereitstellt und nutzt. Sie stellt einen Paradigmenwechsel in der Art zu wirtschaften dar, indem sie einen Rohstoffwandel, weg von fossilen Rohstoffen hin zu nachwachsenden und nachhaltig produzierten Rohstoffen, herbeiführt. In großem Umfang werden biotechnische Verfahren zur nachhaltigen Herstellung biobasierter Materialien und Produkte verwendet, um die Syntheseleistung der Natur zu nutzen. So entsteht eine ressourceneffiziente, abfallvermeidende Kreislaufwirtschaft, in welcher Nutzungsdauerverlängerung, Kaskaden- und Koppelnutzungen sowie Recycling eine große Rolle spielen. Bioökonomie ist in der EU, in Deutschland und Baden-Württemberg eine innovationspolitische Priorität. Sie wird als wichtiges Element zur Erreichung der gesetzten Ziele im Ressourcen- und Klimaschutz sowie zum Erhalt von Wohlstand und Lebensqualität angesehen (European Commission. Directorate General for Research and Innovation 2018; Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2020; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg 2019). Für viele Bioökonomie-Technologien ist eine fundierte wissenschaftliche Wissensbasis bereits vorhanden, so dass jetzt eine Phase der Marktumsetzung beginnt.

2.2 Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen

Weltweit entfallen fast zwei Drittel des Energiebedarfs auf Städte, sie produzieren bis zu 50 % der festen Abfälle und sind für 70 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Zusätzlich werden 80 % der Lebensmittel in Städten konsumiert. Der Trend zur Verstädterung wird sich weiter fortsetzen. Für Städte birgt der Wandel von einer linearen zu einer kreislaufbasierten Wirtschaft große Potenziale zur Bewältigung dieser Herausforderungen: Abfälle, Umweltbelastungen und die Emission von Treibhausgasen verringern, den Anteil erneuerbarer Energien erhöhen und durch die Weiter- und Wiederverwendung von Ressourcen und Produkten den Verbrauch von Rohstoffen, Wasser, Land und Energie reduzieren. Reparatur, Wartung, Aufrüstung, Wiederaufbereitung, Wiederverwendung, Recycling von Materialien und Verlängerung der Produktlebensdauer sollen zu grünem Wirtschaftswachstum und Arbeitsplätzen beitragen (OECD 2020; Vogt et al. 2023).

Hauptansatzpunkte für die Kreislaufwirtschaft liegen in den Bereichen Abfall, Wasser, Gebäude und Infrastrukturen, Lebensmittel, sowie ressourceneffizienten Produktionsprozessen und damit im Kernkompetenz- und Zuständigkeitsbereich von Städten und Gemeinden (OECD 2021). Innerhalb der Kreislaufwirtschaft kommt der Bioökonomie große Bedeutung zu.

2.3 Rohstoffwandel: Konsum fossiler Rohstoffe deutlich senken – Neue Rohstoffquellen erschließen

Die stoffliche und energetische Nutzung von fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, Kohle) muss aus Klimaschutzgründen und der Endlichkeit fossiler Ressourcen weltweit drastisch reduziert werden. Um abiotische Ressourcen (z. B. Mineralien, Metalle, Seltene Erden) zu schonen, müssen sie recycelt werden.

Biomasse als zentraler Rohstoff der Bioökonomie ist für viele Wirtschaftssektoren eine der wenigen Alternativen zu fossilen Rohstoffen. Sie muss jedoch nachhaltig erzeugt werden. Ebenso hat die Ernährungssicherung Priorität vor stofflicher und energetischer Nutzung. Dabei ist es von besonderem Interesse, die

Syntheseleistung der Natur auszuschöpfen und die Biomasse erst nach effizienter Nutzungskaskade der Energiegewinnung zuzuführen. Für urbane Räume sind daher vor allem Biomasse-Reststoffströme relevant (Buller et al. 2023). CO₂ ist neben Biomasse ein weiterer Rohstoff, um künftig den Kohlenstoffbedarf einer weitgehend defossilierten Industrie zu decken.

Zur Nutzung von CO₂, zum Recycling von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor aus Abwasser sowie zur Gewinnung von Metallen (Biomining, Bioleaching) können biotechnische Verfahren genutzt werden (Tezyapar Kara et al. 2023; Sobotka et al. 2023; Magrí et al. 2020).

2.4 Nutzung kommunaler und regionaler biogener Rest- und Abfallstoffe als Rohstoff für die Bioökonomie

Biogene Rest- und Abfallstoffe sind wichtige Rohstoffe in einer urbanen Kreislaufwirtschaft. Hierzu zählen Haushalts-Bioabfälle, Grünschnitt, Gartenabfälle und Laub sowie gewerbliche und industrielle biogene Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung, Lebensmittelabfälle, Fette und Öle, Holz, Papier und Kartonagen. Sowohl die hochwertige stoffliche und thermische Nutzung der nichtmineralischen als auch nichtmetallischen Fraktionen des Restmülls sind hierunter zu fassen. Biogene Rest- und Abfallstoffe werden als Rohstoff für die Produktion von Massen-, Spezial- und Feinchemikalien, Materialien und Energieträgern genutzt. Hierdurch werden kommunale Stoffströme an die chemische Industrie angebunden. Die Umsetzung erfolgt über verschiedene biotechnische, chemische und physikalische Prozesse bzw. Kombinationen.

Im Sinne einer Kaskadennutzung haben viele Ansätze Einsatzreife erreicht, die eine höherwertige Nutzung ermöglichen. Die Verwertung von Fasern wie im Papierkreislauf ist bereits weit fortgeschritten, während sich die Verwertung von Abfällen aus der Biotonne und Grünabfällen meist noch auf Kompostierung oder Vergärung/Biogaserzeugung beschränkt. Hier können neue Verfahren wie die Pyrolyse und anschließende Verwertung von Biokohle oder katalytische Biosyntheseprozesse ansetzen.

2.5 Nutzung kommunaler und regionaler Abwasserströme als Rohstoff für die Bioökonomie

In kommunalen Kläranlagen ist eine dreistufige Abwasserbehandlung Stand der Technik. Dabei werden Schad- und Störstoffe sowie Krankheitserreger weitgehend entfernt. Abwasserbehandlungstechniken müssen aber weiterentwickelt und Kläranlagen aus- und aufgerüstet werden: z. B. wird nach der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 27.09.2017 die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm ab 2029 Pflicht. Kläranlagen müssen auf die folgenden Ziele hin weiterentwickelt werden³⁾:

- Senkung des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz,
- Erhöhung der Energieerzeugung aus Abwasser und Klärschlamm (z. B. Biogas, Wasserstoff (H₂), Strom),
- Recycling der für die Landwirtschaft relevanten Makronährstoffe Stickstoff und Phosphor,
- Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen und Spurenstoffen (z. B. Arzneimittelwirkstoffe, Mikroplastik, Nanomaterialien),
- Verringerung von Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O)).

Für die automatisierte Erfassung, Auswertung und Interpretation von Messdaten und modellbasierte Projektionen spielen Digitalisierung, Big Data und künstliche Intelligenz eine zunehmende Rolle für die sogenannte Wasserwirtschaft 4.0 (Holländer et al. 2020).

³⁾ www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/abwasser

2.6 Nutzung von CO₂ als Rohstoff für die Industrie

Um die international vereinbarten Klimaschutzziele zu erreichen, muss auf fossile Energieträger und Rohstoffe weitgehend verzichtet werden. Um dennoch den Kohlenstoffbedarf der industriellen Produktion zu decken, muss neben biogenen Roh- und Reststoffen auch Kohlenstoffdioxid (CO₂) als Rohstoff erschlossen werden. Besonders geeignete CO₂-Quellen sind Anlagen, deren Abgas hohe CO₂-Konzentrationen aufweist (z. B. Zement- und Stahlproduktion, Abfallverbrennung, Fermentationen) (VCI und VDI 2023).

Energie aus regenerativen Quellen wird eingesetzt, um CO₂ und Wasser zu organischen Verbindungen und O₂ umzusetzen. Neben Power2X-Ansätzen ist dies durch modifizierte Photosynthese, Elektrobiosynthese, Gasfermentation und biologische Methanisierung möglich⁴. Gasfermentation und biologische Methanisierung haben in Nischen industrielle Einsatzreife erreicht, für weiterentwickelte Gasfermentationsverfahren und die Elektrobiosynthese kann der industrielle Einsatz voraussichtlich bis 2030 demonstriert werden (Hüsing et al. 2021).

Zudem spielen die erwarteten Kostensteigerungen für Klimagasemissionen bei Zukunfts- und Investitionsentscheidungen von Unternehmen eine wichtige Rolle. In diesem Kontext ist auch die Abscheidung und Einspeicherung von CO₂ in Senken als Geschäftsmodell zu berücksichtigen.

2.7 Bioökonomie-Infrastrukturen

Eine biobasierte Kreislaufwirtschaft kann nur teilweise auf den etablierten Infrastrukturen für eine fossil basierte, lineare Wirtschaft aufbauen bzw. sie ergänzen. Teilweise benötigt sie neue Infrastrukturen (Grande et al. 2018). Diese sind

- Transport- und Lagerinfrastrukturen für regional anfallende Biomasse,
- Pipelines und Speicherkapazitäten für CO₂ und H₂,
- Versorgung mit regenerativer Energie,
- Logistik der kurzen Wege für Rohstoffe, Produkte und Reststoffe/Abfälle,
- Dateninfrastrukturen über regionale Reststoffströme, um Anbieter und Nutzer der Reststoffe zusammenbringen zu können.

Für FuE sind neben Laboreinrichtungen speziell für das Scale-up in den industriellen Maßstab Pilot- und Demonstrationsanlagen erforderlich, z. B. als open access-multi Purpose Anlagen⁵, die qualifiziertes Personal und ein breites Spektrum an industrierelevanten Anlagen für neue Verfahren und Produkte für Unternehmen bereitstellen. Für eine Produktionsinfrastruktur sind Auf-/Nachrüstungen von Biogas-, Klär- und Abfallbehandlungsanlagen und industriellen Produktionsanlagen erforderlich, ebenso die Etablierung von Bio-raffinerien (Yang und Yang 2022).

2.8 Urbane Landwirtschaft

Urbane Landwirtschaft ist der Oberbegriff für landwirtschaftliche, kommerzielle und nicht-kommerzielle umweltgerechte Produktion in der Stadt oder ihrem nahen Umfeld für den Eigenbedarf der Region. Es werden Lebens- und Futtermittel, Energie und Baustoffe mit Pflanzen, Mikroorganismen, Algen und Tieren (inkl. Aqua- und Insektenkultur) produziert. In Städten kommt innovativen Produktionssystemen wie vertikale Landwirtschaft, Aquaponik und die Nutzung von Dachflächen und Fassaden Bedeutung zu. Urbane Landwirtschaft will ein kulturell reichhaltiges, partizipatives Ernährungssystem bereitstellen (Feldmann et al. 2023a; Feldmann et al. 2023b).

Neben der Versorgung mit regional angebauten Produkten trägt die urbane Landwirtschaft zur Verbesserung des Mikroklimas, zum Erhalt der Biodiversität, zur Sensibilisierung für nachhaltige Lebensstile und zur Gestaltung städtischer Kultur- und Erholungslandschaften und damit insgesamt zur Lebensqualität bei (Deutscher Städtetag 2021).

4) www.umwelttechnik-bw.de/de/ccubio

5) Database of open access pilot and demo-infrastructures across Europe: biopilots4u.eu/

2.9 Digitalisierung in der Bioökonomie

Digitalisierung und Bioökonomie sind zwei Megatrends, die zunehmend konvergieren (Philp 2020). In der lebenswissenschaftlichen FuE haben Omics-Technologien, die sehr große Datensätze über den Zustand und die Interaktion von Ökosystemen, Organismen, Zellen, Stoffwechselfvorgängen und Biomolekülen generieren, sowie Bioinformatik und Künstliche Intelligenz zur Auswertung und Interpretation der Daten stark an Bedeutung gewonnen. Diese Daten werden zur Modellierung und gezielten Optimierung von Produktionsorganismen und -prozessen sowie Molekülen und Materialien genutzt (Krassowski et al. 2020). In der Bioökonomie insgesamt spielen smarte Landwirtschaft, Landwirtschaft 4.0 und Präzisionslandwirtschaft, Big Data, Blockchain und andere Distributed-Ledger-Technologien, Cloud Computing, 3D-Druck, Industrie 4.0, Internet der Dinge, künstliche Intelligenz, intelligente Dienstleistungen sowie Robotik, Sensoren, automatische Prozesssteuerung und digitale Lösungen für Logistik z. B. von biogenen Roh- und Reststoffen eine immer wichtigere Rolle. Digitalisierung in der Bioökonomie kann zur Beschleunigung von Innovationsprozessen, erhöhter Effizienz von Logistik- und Produktionsprozessen und verringertem Ressourcenkonsum sowie zu neuen datenbasierten Dienstleistungen und Geschäftsmodellen beitragen (Rennings et al. 2023).

2.10 Kompetenzen, Qualifikationen & Fachkräfte für die Bioökonomie

Die Bioökonomie ist wissensintensiv. Daher bietet sie vor allem für hoch qualifizierte Fachkräfte mit Universitäts- oder Hochschulabschluss (auf Bachelor-, Master- und Promotionsebene) oder beruflicher Ausbildung Beschäftigungspotenziale. Es werden sowohl Spezialisten als auch Generalisten benötigt, um die Potenziale der Bioökonomie ausschöpfen zu können. Eine Vielzahl von Studienrichtungen und Berufsausbildungen qualifiziert für Tätigkeiten in der Bioökonomie. Exemplarisch seien genannt: Agrar- und Forstwissenschaften, Biologie und Biotechnologie, Chemie, alle Ingenieurwissenschaften, Informatik und Bioinformatik, Materialwissenschaften, Maschinenbau, Anlagen- und Verfahrenstechnik.

Innerhalb der Bioökonomie ist ein rascher technologischer Wandel zu beobachten, beispielsweise eine zunehmende Bedeutung von der Hochskalierung von Produktionsprozessen in der industriellen Biotechnologie, Automatisierung und Industrie 4.0, neuartige Werkstoffe, und Nutzung sehr großer Datenmengen mittels (Bio)-Informatik und künstlicher Intelligenz. Lebenslanges Lernen und Weiterbildung sind daher essenziell. Für die Umsetzung in Unternehmen sind zudem betriebswirtschaftliche Expertise und Unternehmertum (Entrepreneurship) unverzichtbar (European Commission et al. 2022).

Neben akademisch ausgebildeten Fachkräften ist der Bedarf an technischem Personal ein zentraler Faktor für den Unterhalt und Ausbau von Anlagen der Stoffstrombehandlung. Weiterhin haben frühere Initiativen zur Bioökonomie in der TRK gezeigt, dass ein wesentlicher Schulungsbedarf zum Umgang mit biobasierten Produkten besteht, um deren Anwendung in die Praxis zu fördern.

3. Geografische Charakterisierung der TechnologieRegion Karlsruhe

Die TechnologieRegion Karlsruhe (TRK) umfasst als bundeslandüberschreitende und binationale Region den Mittleren Oberrhein in Baden-Württemberg (TRK-MO), die Südpfalz (TRK-PA) und das Nordelsass in Frankreich (TRK-NA). Sie erstreckt sich über eine Fläche von ca. 6.000 km² mit einer Bevölkerung von etwa 1,7 Millionen Menschen. Hier kreuzen sich Nord-Süd und West-Ost Hauptverkehrsadern Europas. Somit ist die TRK über Bahn und Autobahnen sowie über den Rhein als Bundeswasserstraße und über die Luft überregional hervorragend angebunden.

Aus internationaler Sicht befindet sich die TRK im Zentrum des dynamischsten und verdichtetsten Europäischen Wirtschaftsraumes. Gleichwohl ist die Lage mit Distanz zum Meer und Überseehäfen in einer Entfernung von 400 km nach Antwerpen/Rotterdam und 500 km nach Genua/Venedig bezogen auf internationale Güterströme dem Hinterland zuzuordnen. Es ist in Anbetracht der derzeitigen fertigungsintensiven Wertschöpfung mit einem deutlichen Bedarf an Rohstoff- und Energieimporten für die TRK zu rechnen.

In den partizipativen Prozess zur Entwicklung der Bioökonomiestrategie wurden Akteure aus allen drei Teilräumen der TRK einbezogen. Aufgrund der Datenverfügbarkeit, einer hohen Bevölkerungsdichte und der Fortgeschrittenheit des Bioökonomisierungsprozesses im Teilraum TRK-MO steht dieser bei den durchgeführten Datenanalysen zunächst im Mittelpunkt – die Übertragung und Erweiterung auf die weiteren Teilräume der TRK (Südpfalz und Nordelsass) ist angestrebt. Die TRK-MO ist deckungsgleich mit dem Verbandsgebiet der Planungsregion Mittlerer Oberrhein. Hier leben auf einer Fläche von 2.137 km² (6 % der Landesfläche von Baden-Württemberg) 1.042.480 Einwohner. Der Mittlere Oberrhein ist somit innerhalb der TechnologieRegion Karlsruhe am dichtesten besiedelt. Die Bevölkerung nahm zwischen 2011 und 2022 um über 5 % zu. Der Bevölkerungszuwachs liegt damit deutlich über dem durchschnittlichen Wert von Baden-Württemberg.

Die TRK und insbesondere die TRK-MO stellt einen in sich zusammenhängenden, polyzentralen Wirtschaftsraum dar. Die TRK-MO besteht aus zwei Zentren, den Städten Karlsruhe und Baden-Baden und zwei Landkreisen Karlsruhe und Rastatt. Die Stadt Karlsruhe (305.408 Einwohner) spielt als regionales Oberzentrum eine entscheidende Rolle. Der Landkreis Karlsruhe (451.114 Einwohner) mit seinen kreisangehörigen Mittelstädten Bruchsal (46.780 Einwohner), Ettlingen (38.461 Einwohner), Bretten (29.871 Einwohner), Stutensee (24.980), Waghäusel (21.993 Einwohner), Rheinstetten (20.820 Einwohner) bildet gemeinsam mit der Stadt Karlsruhe einen großen Ballungsraum. Im Süden der Region liegt die kreisfreie Stadt Baden-Baden (55.887 Einwohner), umgeben vom Landkreis Rastatt (230.071 Einwohner) mit den kreisangehörigen Städten Rastatt (50.546 Einwohner), Gaggenau (29.553 Einwohner) und Bühl (28.782 Einwohner). Die Südpfalz (TRK-PA, 290.199 Einwohner) mit der kreisfreien Stadt Landau (47.072 Einwohner), dem Landkreis Germersheim (130.551 Einwohner) mit den kreisangehörigen Mittelstädten Germersheim (21.465 Einwohner) und Wörth (18.558 Einwohner) und dem Landkreis Südliche Weinstraße (112.576 Einwohner) ist überwiegend periurban strukturiert⁶. Noch ländlicher ausgeprägt ist die Region Nordelsass (TRK-NA, 373.970 Einwohner) mit dem Mittelzentrum Haguenau (35.715 Einwohner)⁷.

6) Statistisches Bundesamt 2024

7) INSEE 2024

4. Akteursanalyse Wissenschaft, Forschung und Entwicklung, Bildung

4.1 Übersicht

Die TechnologieRegion Karlsruhe zeichnet sich durch über zehn Hochschulen bzw. Universitäten mit insgesamt rund 43.000 Studierenden sowie rund 25 FuE-Einrichtungen⁸ aus. Kernkompetenzen liegen in den Bereichen Energie, Mobilität und Digitalisierung. Eine Kurzübersicht zu verschiedenen Instituten mit Aktivitäten in der Bioökonomie bietet unter anderem der Forschungsatlas der Seite Bioökonomie.de⁹.

Um einen Eindruck von den FuE-Arbeiten auf deutscher Seite in der TechnologieRegion Karlsruhe mit Relevanz für die Bioökonomie zu gewinnen, wurde eine Recherche im Förderkatalog des Bundes nach einschlägigen Projekten durchgeführt, die in den letzten 10 Jahren (seit 01.01.2013) begonnen wurden. Insgesamt wurden 285 (Teil-)Projekte identifiziert, die von Forschungseinrichtungen und Unternehmen mit Sitz in der TechnologieRegion durchgeführt wurden (vgl. Tabelle 1). Die Förderung erfolgte ganz überwiegend durch das BMBF, das BMWK und das BMEL. Die eingeworbene Fördersumme belief sich auf insgesamt rund 90 Mio. €. Dies stellt allerdings nur einen Teil der tatsächlichen Fördersummen dar, die seit 2013 in die Bioökonomie-FuE-Aktivitäten geflossen ist. Es sind beispielsweise Projekte nicht enthalten, die mit Mitteln der Landesförderung, Mitteln der Ressortforschung, Mitteln der EU, struktureller Forschungsförderung und FuE-Infrastrukturinvestitionen in Helmholtz- und Fraunhofer-Einrichtungen oder von Stiftungen gefördert wurden.

Tabelle 1: Thematische Aufschlüsselung bioökonomierelevanter FuE-Projekte in der TRK-MO, die seit 2013 mit Bundesmitteln gefördert wurden

Themenbereich	Fördermittel seit 2013 in Mio. Euro
Biotechnologie, Bioraffinerien, Biosynthesen, chemische Katalyse	21,0
Landwirtschaft, Pflanzenbau, Pflanzenschutz	10,5
Materialeffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen	9,6
Ernährung, Lebensmittel, Futtermittel	7,9
Biobasierte Materialien	7,3
Medizin, Pharma, Medizintechnik	6,6
Energetische Biomassenutzung	6,1
CO ₂ -Nutzung	5,5
Wasser	5,3
Sozioökonomische Forschung zur Bioökonomie	2,2
Sonstige Themen	8,7
Gesamt	90,7

Quelle: Recherche Fraunhofer ISI (2023)

8) Namentliche Auflistung der in der Stadt Karlsruhe ansässigen Institutionen unter www.karlsruhe.de/wirtschaft-wissenschaft/wissenschaftsstadt/wissenschaftseinrichtungen

9) bioökonomie.de (2024)

Im Bereich Bioökonomie sind die führenden Einrichtungen im Mittleren Oberrhein (TRK-MO)

- das Karlsruher Institut für Technologie KIT mit einer Vielzahl einschlägig tätiger Institute
- die drei Fraunhofer-Institute für Chemische Technologie ICT, für System- und Innovationsforschung ISI, sowie für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- das Landwirtschaftliche Technologiezentrum LTZ Augustenberg
- das DVGW Technologiezentrum Wasser
- die Duale Hochschule Baden-Württemberg Standort Karlsruhe
- das Max-Rubner-Institut MRI Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, die Hochschule Karlsruhe – Technik & Wirtschaft

sowie in der Südpfalz (TRK-PA)

- die Rheinland-Pfälzische Technische Universität RPTU Kaiserslautern-Landau – Campus Landau
- das Julius-Kühn-Institut JKI Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen – Institut für Rebenzüchtung am Standort Siebeldingen

Im Bereich Bildung spielen u.a. die beruflichen Gymnasien mit Biotechnologieschwerpunkt eine Rolle (siehe Abschnitt Biotechnologische Gymnasien BTG) sowie Fachschulen für die Ausbildung zur Biologisch-Technischen oder Pharmazeutisch-Technischen Assistenz.

Diese Einrichtungen werden im Folgenden näher charakterisiert.

4.2 Karlsruher Institut für Technologie KIT

Das Karlsruher Institut für Technologie KIT¹⁰ ist eine Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft und eine der größten Wissenschaftseinrichtungen Europas. Das KIT hat fast 10.000 Beschäftigte und etwa 22.000 Studierende. Es gilt international als Spitzenuniversität für Ingenieur- und Naturwissenschaften (ca. 17.000 Studierende). Schwerpunkte in Lehre, Forschung und Innovation sind Energie, Mobilität, Information, Klima und Umwelt sowie Materialwissenschaften.

Die folgenden Studiengänge sind von zentraler Relevanz für die Bioökonomie: Bioingenieurwesen, Biologie, Chemische Biologie, Geoökologie, Lebensmittelchemie, Water Science and Engineering, Chemie, Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Architektur und Bauingenieurwesen. Wichtige Kompetenzen, die auch in der Bioökonomie Anwendung finden können, werden in den Studiengängen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik, Wirtschaftsingenieurwesen und Wirtschaftsinformatik vermittelt.

Bioökonomierelevante FuE-Aktivitäten am KIT decken ein breites Spektrum in Bezug auf die Technologiereife ab und reichen von der Grundlagenforschung bis zu Entwicklungen im Pilot- und Demonstrationsmaßstab.

Essenzielle Kompetenzen in der Biotechnologie, in der Entwicklung innovativer biotechnischer Prozesse und Bioraffinerien sind in der **Fakultät Chemie und Biowissenschaften**¹¹ gebündelt. Bioökonomierelevante Aktivitäten finden sich u.a. in diesen Instituten (Auswahl):

- **Institut für Angewandte Biowissenschaften IAB** Forschungsschwerpunkte sind die biotechnische Produktion von Plattformchemikalien; Struktur, Funktion und Bioaktivität von Lebensmittelproteinen; mikrobielle Genomforschung; Lebensmittel- und Pflanzenchemie; Lebensmittelchemie und Toxikologie; Genetik pflanzenpathogener Pilze und Pilzstoffwechsel.
- **Institut für Biologische und chemische Systeme IBCS**¹². Es werden die biologische Informationsprozessierung sowie funktionelle molekulare Systeme erforscht.

10) KIT – Karlsruher Institut für Technologie (Stand Februar 2024)

11) www.chem-bio.kit.edu

12) www.ibcs.kit.edu

Den Forschungsschwerpunkten „Energie“ und „Mobilität“ am KIT entsprechend wird seit Jahren intensiv an der effizienten Herstellung von regenerativen Kraftstoffen (reFuels)¹³ und der Produktion von Kraftstoffkomponenten aus pflanzlichen Reststoffen in der bioliq-Pilotanlage¹⁴ gearbeitet. Federführend sind das **Institut für Katalysatorforschung und -technologie IKFT** und das **Institut für Technische Chemie ITC**. Außerdem werden Biomassekraftwerke und Biobrennstoffe erforscht. Das **Institut für Mikroverfahrenstechnik IMVT**¹⁵ forscht ebenfalls für die Energie der Zukunft. Beispielsweise werden kostengünstige Fotoreaktoren zur solaren Produktion von Wasserstoff auf Hausdächern entwickelt. Für CO₂, welches aus Klärschlamm-Faulgasen bzw. Biogas abgetrennt wird, wurde eine Methanolsynthese entwickelt. Eine Demonstrationsanlage ist in Planung. Die hier genannten Aktivitäten sind in das **EnergyLab2.0**¹⁶ eingebunden, in der unter anderem die Produktion von Wasserstoff mit regenerativ erzeugtem Strom sowie Power-to-Gas oder Power-to-Liquid-Ansätze erprobt werden. Hier ergeben sich potenzielle Synergien zur biotechnischen CO₂-Nutzung.

Im **KIT-Zentrum „Klima und Umwelt“** wird unter anderem die Themen Kreislaufwirtschaft und Umwelttechnologien bearbeitet. Ziel ist es, Kreisläufe zu schließen und industrielle Prozesse so zu erweitern, dass Rohstoffbedarf, Emissionen und Abfall minimiert werden. Schwerpunkte liegen im Recycling, in der Umwandlung von komplexen Abfällen zu Rohstoffen, sowie im Erhalt der Wertschöpfung in Produkten auch am Ende ihrer Nutzungsdauer. Diesem Zentrum sind unter anderem diese Institute mit bioökonomierelevanten Forschungsaktivitäten zugeordnet (Auswahl):

- **Engler-Bunte-Institut ebi**¹⁷, mit daran angebundener DVGW-Forschungsstelle. Das ebi betreibt FuE zu nachhaltiger Energie- und Wassernutzung: Es arbeitet an der Charakterisierung fossiler und biogener, fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe und Energieträger, der Verfahrens- und Verbrennungstechnik¹⁸, sowie im Bereich der Wasserchemie und Wasseraufbereitung¹⁹. In diesem Bereich wurde beispielsweise die H₂-Produktion aus Urin (PeePower™ Reaktor) entwickelt. Das KIT ebi ist auch am Projekt KoalAplan beteiligt, in dem Stickstoff, Wasserstoff und Bioplastik aus Abwasser gewonnen werden. In der DVGW-Forschungsstelle wird u.a. die bioelektrische Produktion von Wertstoffen sowie Verfahren zur Abtrennung von CO₂ und H₂ aus Industriegasen erforscht.
- **Institut Entwerfen und Bautechnik IEB – Fachgebiet Nachhaltiges Bauen**²⁰. Am Institut wird Forschung zu innovativen Baustoffen betrieben. Dies sind nachwachsende Baustoffe oder wiederverwendbare oder -verwertbare Materialien. Es werden u.a. digitales Design und digitale Produktionsmethoden für die Verarbeitung biobasierter Materialien zu Bauwerken erforscht.
- **Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion IIP**²¹. Das Institut führt techno-ökonomisch-ökologische Evaluierungen von Konzepten für ausgewählte Bioökonomie- und Industriebereiche durch. Alle Stufen der Wertschöpfungskette werden betrachtet: von der Bereitstellung von Biomasse über Simulationen technischer Produktionsprozesse und die Entwicklung von industriellen Produktions-, Logistik und Entsorgungskonzepten bis hin zu Prozess- und Produktbewertungen.
- **Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse ITAS**. Das Institut führt in der Forschungsgruppe Nachhaltige Bioökonomie²² sozioökonomische Untersuchungen und Technikfolgenabschätzungen zu verschiedenen Teilbereichen der Bioökonomie durch.

13) www.refuels.de

14) www.bioliq.de

15) www.imvt.kit.edu

16) www.elab2.kit.edu

17) KIT – Engler-Bunte-Institut (EBI)

18) KIT – EBI ceb Start

19) KIT EBI – Engler-Bunte-Institut, Wasserchemie und Wassertechnologie

20) nb.ieb.kit.edu

21) www.iip.kit.edu

22) www.itas.kit.edu/fg_bio.php

Im **KIT-Zentrum Materialien** werden neue leistungsfähige Materialien für spezifische Anwendungen erforscht und entwickelt. Es wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Implementierung abgedeckt. Die Digitalisierung der Materialwissenschaften (z. B. durch Modellierung und Virtualisierung) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Im Topic „Biologische Systeme“²³ werden biologische Kontrollmechanismen aufgeklärt, um diese für das rationale Design multifunktionaler neuer Materialien zu nutzen. Dem Zentrum sind zahlreiche Institute zugeordnet. Exemplarisch seien folgende Institute mit Bioökonomieaktivitäten genannt:

- **Institut für Organische Chemie IOC**²⁴. Am IOC werden den Prinzipien der Grünen Chemie folgend neue chemisch-katalytische Syntheseverfahren entwickelt. Ein Schwerpunkt ist die Erschließung biogener Rohstoffe für die Produktion nachhaltiger Polymermaterialien. Es werden auch hochdefinierte Polymerarchitekturen für spezifische Anwendungen entworfen, wie z. B. Datenspeicherung oder Arzneimittelabgabe.
- **Biomaterialgruppe**²⁵. Die Mitglieder der Biomaterialgruppe befassen sich mit Materialien für 3D-Zellkulturen und für das Tissue Engineering, Bioprinting, Biochips, Biosensoren und Bioelektronik, Biomaterialien für unterschiedliche Anwendungen sowie funktionalisierte Oberflächen. Hierzu gehören unter anderem das **Institut für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik BLT**²⁶ und das **Institut für Biologische Grenzflächen IBG**²⁷.
- **wbk Institut für Produktionstechnik**²⁸. Am Institut werden in den drei Bereichen „Fertigungs- und Werkstofftechnik“, „Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung“ und „Produktionssysteme“ gemeinsam mit Industriepartnern innovative Produktionstechnologien, -methoden und -prozesse erforscht. Sie sollen schnell in die industrielle Anwendung überführt werden. Hierzu betreibt das wbk gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IOSB und ICT die **Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion**²⁹. Es wird untersucht, wie klassische Produktionstechnologien und -systematiken auf neue Materialien und Werkstoffe übertragen werden können und das Upscaling von Anlagen erfolgen kann. Weiteres Forschungsthema ist die Gestaltung zukünftiger Fabrikwelten und deren Netzwerke.

23) KIT/MResearch topics – Topic 5: Biological systems

24) www.ioc.kit.edu

25) KIT/M – Biomaterials Group

26) www.blt.kit.edu

27) www.ibg.kit.edu/index.php

28) www.wbk.kit.edu

29) www.karlsruher-forschungsfabrik.de

4.3 Fraunhofer-Institute

4.3.1 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Das Fraunhofer ICT³⁰ hat Kernkompetenzen auf den Gebieten Chemische Prozesse, Kunststofftechnologie, Energie und Antriebe sowie Explosivstofftechnik. Im ICT-Bereich „Umwelt Engineering“ hat die Bioökonomie-Gruppe (BioEco)³¹ folgende Schwerpunkte:

- Bioraffinerie: Gewinnung und Aufreinigung von chemisch interessanten Komponenten aus nachwachsenden Rohstoffen. Diese Prozesse sind z. B. Aufschluss / Fraktionierung von Lignocellulose, Insekten-Bioraffinerie, Zucker-Stärke-Bioraffinerie, Pflanzenöl Bioraffinerie sowie die Verwertung von Biogas und Fraktionierung von Gülle aus der Tierhaltung,
- Nachhaltige chemische Konversionsverfahren für biobasierte Zwischenprodukte, um produktspezifische Eigenschaften zu erzielen,
- Herstellung biobasierter Materialien sowie Kunststoffe.

4.3.2 Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Kernkompetenzen des Fraunhofer IOSB³² liegen in der Erzeugung von Licht und seiner Umsetzung in elektronische Signale (Optronik), der Gewinnung von Informationen und Erkenntnissen aus Bildern mit Hilfe von Algorithmen und Verfahren (Bildauswertung), sowie der Integration in komplexe Hard- und Softwarearchitekturen (Systemtechnik). Das Institut deckt die komplette Prozess- und Verwertungskette von der Entwicklung neuartiger Sichtsysteme und Laserlichtquellen und den Einsatz von Sensoren über die Verarbeitung und Auswertung der so erhobenen Daten bis hin zur Entscheidungsunterstützung ab. Es werden eine Vielzahl von Anwendungsfeldern von der Automatisierung/Industrie 4.0 über Inspektion und Versorgungsinfrastrukturen bis zur Sicherheits- und Verteidigungsforschung adressiert.

Die Kompetenzen des Instituts sind für die Bioökonomie u.a. nutzbar bei

- der Automatisierung und Digitalisierung von Produktionsprozessen, z. B. durch automatisierte Detektion und Entfernung von Unkräutern aus geernteten Drogen von Arznei- und Gewürzpflanzen,
- der Qualitätssicherung durch industrielle Bildverarbeitung, z. B. zur Bewertung von Qualität und Frische von leicht verderblichen Lebensmitteln entlang der Lieferkette; zum Monitoring von Schaderregern im Pflanzenbau,
- in der Wasserversorgung und Wassermanagement, z. B. intelligentes Monitoringsystem zur Reduzierung von Nitrat im Grundwasser.

4.3.3 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Das Fraunhofer ISI³³ ist ein international führendes Institut der Innovationsforschung. Es erforscht die wissenschaftlichen, wirtschaftlichen, ökologischen, sozialen, organisatorischen, rechtlichen und politischen Entstehungsbedingungen für Innovationen und deren Auswirkungen. Ziel ist, Wirtschaft, Politik und Wissenschaft Entscheidungsgrundlagen und Handlungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen.

Im Geschäftsfeld „Bioökonomie und Lebenswissenschaften“ des **Competence Centers Neue Technologien**³⁴ wird der gesellschaftliche Transformationsprozess zur Bioökonomie gesamthaft erforscht. Untersuchungsgegenstand sind die Rahmenbedingungen für Innovation und die Potenziale der Bioökonomie für die Wirt-

30) www.ict.fraunhofer.de

31) www.ict.fraunhofer.de/de/komp/ue/BioEco.html

32) www.iosb.fraunhofer.de/

33) www.isi.fraunhofer.de

34) Bioökonomie und Lebenswissenschaften – Fraunhofer ISI

schaft, Gesellschaft und Umwelt. Wichtiger Bestandteil der Arbeiten ist es, Stakeholder und ihre unterschiedlichen Perspektiven zusammenzubringen und Strategieprozesse sowie die Implementierung von Innovationen zu begleiten.

4.4 Landwirtschaftliches Technologiezentrum LTZ Augustenberg

Das LTZ Augustenberg³⁵ arbeitet als nachgeordnete Einrichtung im Geschäftsbereich des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz u.a. an der Umsetzung von Maßnahmen der Bioökonomiestrategie des Landes. Es erforscht die umweltgerechte und wirtschaftliche Produktion von qualitativ hochwertiger Biomasse als nachwachsender Rohstoff (NaWaRo). Es führt Feldversuche durch und entwickelt Produktionsverfahren weiter. Es stellt Interessierten Fachinformationen zum Anbau und Verwertung von NaWaRo-Pflanzen zur Verfügung und berät sie. Durch die enge Verzahnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen mit praktischer Landwirtschaft und Kooperationen mit Wirtschaftsbetrieben werden die angewandte Forschung und der Wissenstransfer zur Bioökonomie in den Schwerpunkten pflanzliche Erzeugung, Rohstoffqualität und Produktionstechnik zur Nutzung pflanzlicher Ressourcen vorangetrieben.

4.5 Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel

Das Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel³⁶ MRI, ist eine Forschungs- und Beratungseinrichtung des Bundes im Bereich Ernährung und Lebensmittel. Der Hauptsitz des MRI befindet sich in Karlsruhe.

Ziel der Forschungsarbeiten des Max-Rubner-Instituts ist der gesundheitliche Verbraucherschutz. Hierfür werden – in weitem Sinne – die Wirkungen von Lebensmitteln auf den Menschen untersucht. Dies umfasst beispielsweise die Charakterisierung von Qualität, Sicherheit und Authentizität von Lebensmitteln, Fragen einer gesunden und nachhaltigen Ernährung sowie die Ernährung von Bevölkerungsgruppen in spezifischen Lebensphasen mit teilweise besonderen Ansprüchen, wie Kinder und Senioren.

In den fünf Instituten am Standort Karlsruhe (Institut für Physiologie und Biochemie der Ernährung; für Ernährungsverhalten; für Kinderernährung; für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik; für Sicherheit und Qualität bei Obst und Gemüse) wird beispielsweise erforscht, wie Rohstoffe unterschiedlicher Herkunft zu gesundheitszuträglichen und sicheren Lebensmitteln bearbeitet und verarbeitet werden können. Darunter sind auch neuartige Lebensmittelrohstoffe wie z. B. Insekten oder Algen, sowie neuartige Be- und Verarbeitungstechnologien (z. B. Biosensoren, Nanopartikel, Hochdruckbehandlung). Auch Aspekte der Verpackung, Lagerung und Distribution von Lebensmitteln sind Gegenstand der Forschungsarbeiten.

4.6 TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser

Das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser³⁷ ist eine eigenständige gemeinnützige Einrichtung des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW). Es widmet sich technisch-wissenschaftlichen Fragestellungen des Wasserkreislaufs mit besonderem Fokus auf Trinkwasser. Es befasst sich damit, wie Wasserressourcen nachhaltig geschützt, wie die Trinkwasserversorgung innovativ gelöst werden kann und wie die Abwasserentsorgung der Zukunft aussieht. Rund 200 Mitarbeiter arbeiten in der anwendungsnahen Forschung sowie der wissenschaftlichen Beratung in den Bereichen Wasserversorgung, Wassermikrobiologie, Wasserchemie, Wasserverteilung und der Prüfstelle Wasser.

35) ltz.landwirtschaft-bw.de

36) www.mri.bund.de

37) tzw.de

4.7 Duale Hochschule Baden-Württemberg DHBW Karlsruhe

Die Duale Hochschule Baden-Württemberg am Standort Karlsruhe³⁸ bietet 20 duale Studiengänge bzw. Studienrichtungen in den drei Studienbereichen Gesundheit, Technik und Wirtschaft. In Zusammenarbeit mit rund 1.000 Unternehmen werden hier rund 3.200 Studierende ausgebildet.

Bioökonomie relevant ist vor allem der Bachelorstudiengang Sustainable Science and Technology im Studienbereich Technik mit seinem Fokus auf Bioökonomie, Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Eine Studienrichtung ist die Papiertechnologie und Verpackungstechnologie. Hier wird Forschung zu biobasierten Werkstoffen betrieben, um fossil-basierte Kunststoffe ersetzen zu können. Es werden Produkte und Verarbeitungsprozesse erforscht und entwickelt, beispielsweise für bio-basierte Polymersysteme mit programmierbarer Abbaubarkeit, oder auch Faserverbundwerkstoffe. Es besteht eine enge Kooperation mit dem Papierzentrum in Gernsbach.

4.8 Hochschule Karlsruhe HKA

Die Hochschule Karlsruhe³⁹ ist eine der größten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg und gilt als forschungsstark. Rund 8.200 Studierende verteilen sich auf sechs Fakultäten: Architektur und Bauwesen, Elektro- und Informationstechnik, Informatik und Wirtschaftsinformatik, Informationsmanagement und Medien, Maschinenbau und Mechatronik sowie Wirtschaftswissenschaften. Forschungsschwerpunkte sind innovative Mobilitätskonzepte, Ressourcen und Klima, Intelligente Systeme, sowie Arbeit und Produktion.

Bioökonomie relevante Forschungsprojekte befassen sich beispielsweise mit Sensor- und Regelungssystemen für Emissionsminderungen bei Verbrennung von Biomasse, der Eignung von Bio-Gerätebenzin für Kleinmotoren, dem Einsatz von Drohnen zum Schädlingsmonitoring in Gewächshäusern oder sonnenlichtgetriebenen Wasserentsalzungsanlagen für Landwirtschaft in Trockengebieten. Darüber hinaus bestehen große Kompetenzen im Bereich der Wasserstoffversorgung einem potenziell wichtigen zukünftigen Energieträger für bioökonomische Produktionsprozesse.

4.9 Rheinland-Pfälzische Technische Universität RPTU Kaiserslautern-Landau

Die RPTU ist mit etwa 20.000 Studierenden und ca. 2.500 Mitarbeitern die zweitgrößte Universität und einzige Technische Universität des Landes Rheinland-Pfalz. In der TRK liegt der Campus Landau an welchem sich insbesondere das Institut für Umweltwissenschaften IES mit ca. 100 Mitarbeitenden und ca. 500 Studierenden mit Bioökonomie-relevanten Fragestellungen befasst.

Im Fokus der Arbeiten stehen die Themenfelder Ökotoxikologie, aquatische und terrestrische Ökologie, Umweltgenetik sowie die Untersuchung von Wasser- und Bodenqualität und Erforschung von Stoffkreisläufen und deren ökologischen Auswirkungen und Veränderungsprozesse. Damit tragen die Arbeiten zum Verständnis biologischer Zusammenhänge bei und sollen die schonende Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen und Minderung der Wirkung von Stressoren fördern.⁴⁰

38) www.karlsruhe.dhbw.de

39) www.h-ka.de

40) nuw.rptu.de/institute/ies

4.10 Biotechnologische Gymnasien BTG

Biotechnologische Gymnasien sind berufliche Gymnasien, die das Schwerpunktfach Biotechnologie anbieten. Darin werden Grundlagenkenntnisse in Biologie und Chemie und vertiefende Kenntnisse in Mikrobiologie, Molekularbiologie, Bioverfahrenstechnik und Bioinformatik vermittelt. Theoretisches Wissen wird durch Praktika und fächerübergreifende Unterrichtsprojekte ergänzt. In Baden-Württemberg gibt es derzeit biotechnologische Gymnasien an 30 Standorten⁴¹. Davon befinden sich vier in der TechnologieRegion Karlsruhe:

- Bruchsal, Käthe-Kollwitz-Schule
- Ettlingen, Bertha-von-Suttner-Schule
- Karlsruhe, Elisabeth-Selbert-Schule
- Rastatt, Anne-Frank-Schule

4.11 Berufsfachschulen und Ausbildungszentren

Für die Ausbildung zur Fachkraft in den direkt bioökonomiebezogenen Berufsfeldern Biologie-, Chemie-, und Pharmazie gibt es in der TechnologieRegion Karlsruhe zwei öffentliche Berufsfachschulen/Kollegien. Diese bieten sowohl grundständige Ausbildungen wie auch fachliche Weiterbildungen zur Vertiefung an. Weiterhin gibt es am Standort Baden-Baden eine private Schule für die Ausbildung zur Pharmazeutisch-Technischen Assistenz. Nicht ortsgebundene, digitale Ausbildungsangebote für die genannten Bereiche wurden nicht erfasst.

- Carl-Engler Schule in Karlsruhe⁴²
Ausbildung zur Biologisch-Technischen Assistenz (BTA)/Biologielaborant (BL), Chemisch-Technische Assistenz (CTA), Chemielaborant (CL), Pharmazeutisch-Technische Assistenz (PTA)
- Naturwissenschaftliches Technikum Dr. Künkele in Landau⁴³
Ausbildung zur Biologisch-Technischen Assistenz (BTA), Pharmazeutisch-Technischen Assistenz (PTA) und Umwelttechnischen Assistenz (UTA)

41) schulfinder.kultus-bw.de

42) carl-engler-schule-karlsruhe.de

43) www.ntk-schule.de

5. Akteursanalyse Wirtschaft

Die TechnologieRegion Karlsruhe ist wirtschafts- und innovationsstark. Sie ist Standort für global agierende Unternehmen, mittelständische Unternehmen und Start-ups, darunter Innovations- und Branchenführer.

In der TRK-MO (Region Mittlerer Oberrhein) dominiert der Dienstleistungssektor: Zwei Drittel des Umsatzes werden im Dienstleistungssektor erwirtschaftet, ein Drittel im verarbeitenden Gewerbe. Der primäre Sektor spielt mit unter 1% des Umsatzes quantitativ keine Rolle⁴⁴. Dies unterstreicht den urbanen und periurbanen Charakter der Region.

Die Forschungs- und Innovationsstärke der Region spiegelt sich auch im Branchenprofil des verarbeitenden Gewerbes wider: In der TechnologieRegion Karlsruhe sind die forschungsintensiven Branchen der Spitzentechnologie⁴⁵ und der hochwertigen Technologie⁴⁶ von größerer Bedeutung, als dies im Durchschnitt Deutschlands der Fall ist. Im Jahr 2018 belief sich der Beschäftigtenanteil in diesen Branchen auf 14,5%. Dies waren 2018 insgesamt rund 80.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte⁴⁷. Dieses Branchenprofil spiegelt sich auch in den regionalen Clustern in den Branchen Automotive, IKT, Umwelttechnologien/Energie, Sensorik, Nanotechnologie sowie Kultur-/Kreativwirtschaft wider.

In anderen Regionen stellen die chemische und die pharmazeutische Industrie anspruchsvolle Nachfrager nach Prozess- und Produktinnovationen in der Bioökonomie dar bzw. treiben diese selbst voran. In der TechnologieRegion Karlsruhe spielen diese Branchen verglichen mit anderen Wirtschaftsbereichen eine verhältnismäßig kleinere Rolle. An einzelnen Standorten sind jedoch Häufungen festzustellen, beispielsweise im Bereich (Phyto-) Pharmazeutika.

Vielmehr wird das verarbeitende Gewerbe in der Region TRK-MO durch die Automobilindustrie, ihre Zulieferer und die jeweils vorgelagerten Branchen bestimmt: Mehr als 50% des gesamten Umsatzes des verarbeitenden Gewerbes wird von diesen Branchen erwirtschaftet. Angesichts des technologischen und strukturellen Wandels in der Automobilindustrie, weg vom Verbrenner hin zur Elektromobilität, steht die Region somit vor der Herausforderung, diesen Unternehmen Zukunftsperspektiven aufzuzeigen, um Beschäftigung und Wohlstand in der Region langfristig zu sichern. Kompetenzen, Produkte und Dienstleistungen insbesondere in den Branchen Maschinenbau, Herstellung, Installation und Reparatur von Maschinen und Ausrüstungen aller Art sowie in der Digitalisierung sind auch für die Bioökonomie essenziell. Diese Branchen machen derzeit mehr als 20% des Umsatzes in der Region aus. Sie stellen somit eine regionale Stärke dar, die für die Bioökonomie erschlossen werden könnte.

Innerhalb der Bioökonomie kommt der Substitution fossiler Rohstoffe durch Biomasse eine große Bedeutung zu. Die größte Raffinerie Deutschlands, die Mineralölraffinerie Oberrhein MiRO, hat ihren Standort in Karlsruhe. Das Unternehmen hat bereits den Transformationsprozess hin zu einer Defossilisierung gestartet. Grünem Wasserstoff, nachhaltigeren Rohstoffen und der Umsetzung von CO₂ in chemische Verbindungen kommen dabei Schlüsselrollen zu. Daraus ergeben sich potenzielle Schnittstellen zur Bioökonomie.

Bei der Substitution fossiler Rohstoffe durch Biomasse kommen in der urban und periurban geprägten Region aufgrund der quantitativ geringen Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft vor allem biogene Reststoffe aus der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie aus kommunalen Abfall- und Abwasserströmen in Betracht. In der Region stellen die Nahrungs- und Futtermittelindustrie, die Papierindustrie, die Kunststoffindustrie sowie die Chemieindustrie Branchen dar, die bereits jetzt biogene Rohstoffe verarbeiten und Abfallströme zur weitergehenden Valorisierung bereitstellen bzw. den Anteil biogener Rohstoffe künftig

44) IHK Karlsruhe (2022) Industriestatistik des Bezirks IHK Karlsruhe. Ausgewählte Industriebranchen 2022 – Beschäftigte und Gesamtumsatz

45) Spitzentechnologiebranchen: Pharmaindustrie, elektronische Bauelemente, Hardware, Geräte der Telekommunikationstechnik, Mess-, Steuer-, Regeltechnik, medizinische Geräte sowie Luft- und Raumfahrt

46) Branchen der hochwertigen Technologie: chemische Industrie, Automobilindustrie, Maschinenbau

47) TechnologieRegion Karlsruhe GmbH (2019) Regionale Entwicklungsstrategie TechnologieRegion Karlsruhe 2019

erhöhen könnten. Weitere wichtige Akteure sind Entsorgungsfachbetriebe, die im Auftrag von Kommunen und Unternehmen Abfallströme behandeln und verwerten. Auch die Bauwirtschaft kommt als Abnehmer biobasierter Baumaterialien und Produkte in Betracht. Der Anteil dieser Branchen am Gesamtumsatz in der Region beläuft sich auf knapp 20%. Im Rahmen der Akteursanalyse wurden die Interviews mit verschiedenen, für die regionale Bioökonomie relevanten industriellen Branchen: Chemie, Lebensmittel, Verpackung und Kunststoffe, Papierwirtschaft, Maschinenbau, Entsorgung, Bauwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologien durchgeführt. Informationen zu Unternehmen die in der Bioökonomie aktiv sind bzw. Kompetenzen haben finden sich auf der [Webseite der TechnologieRegion Karlsruhe](#).

6. Kommunale Akteure

Die Weiterentwicklung der Bioökonomie im periurbanen und urbanen Raum der TechnologieRegion Karlsruhe setzt die aktive Einbindung kommunaler Akteure voraus: Zum einen treffen sie wichtige strategische und operative Entscheidungen, ob und in welchem Maße die Bioökonomie gefördert und genutzt wird. Zum anderen kommen sie selbst als Anbieter und Nachfrager von Prozessen, Produkten und Dienstleistungen der Bioökonomie in Betracht.

In den Städten Karlsruhe, Baden-Baden und Landau sowie in den Landkreisen Karlsruhe, Rastatt, Gernersheim und Südliche Weinstraße und den großen kreisangehörigen Städten Bruchsal, Bretten, Ettlingen, Rastatt und Bühl wurden die relevanten Akteure identifiziert. Dies waren vor allem die jeweiligen Bürgermeister:innen sowie die Amtsleitungen bzw. Leitungen der Eigenbetriebe für Abfallwirtschaft und Stadtentwässerung, für Grünflächenmanagement, Klima, Umwelt und Mobilitätsentwicklung, die Stadtwerke, Gebäudewirtschaft bzw. kommunale Wohnungsbaugesellschaften, Wirtschaftsförderung, Stadtentwicklung bzw. Stadtplanung und weitere kommunale Beteiligungsgesellschaften.

Neben einem Top-Down-Ansatz zur Benennung relevanter Positionen und Verantwortlicher durch die Leitungen, wurden Stellen mit hohem zu erwartendem Bezug zur Bioökonomie gezielt identifiziert und direkt angesprochen. Ergänzend, für die Erfassung von bestehenden Aktivitäten und Kompetenzen wurden Kontakte per Schneeballsystem angesprochen und Veröffentlichungen der Kommunen und in Medien hinzugezogen. Darüber hinaus wurden Intermediäre wie beispielsweise der Regionalverband Mittlerer Oberrhein, einschlägige Beratungseinrichtungen wie die Umwelt- und Energieagenturen sowie die Industrie- und Handelskammer und die Handwerkskammer in den Strategieprozess eingebunden.

Die interaktiven Workshops und Interviews dienten unter anderem der Identifizierung von Potenzialen zur Förderung der Bioökonomie durch die Bereitstellung von Informationen für den Wissenstransfer zum aktuellen und zukünftigen technischen Stand auf operativer Ebene. Dieser Austausch wurde insbesondere angereichert durch die gemeinsame Diskussion der Auswirkung von prozessualen und organisatorischen Strukturen auf Bioökonomisierungspotenziale im laufenden Betrieb. Ein wesentlicher Mehrwert lag unter anderem in der Bestimmung relevanter Rahmenbedingungen wie Personalverfügbarkeit und Ausschreibungsregelungen, um einzuschätzen wie der Prozess der Bioökonomisierung zukünftig auch strukturell im Rahmen der kommunalen Möglichkeiten gefördert werden kann.

Es zeigte sich, dass das Wissen über die Bioökonomie und das Bewusstsein über ihre Potenziale bei den betreffenden Akteuren entweder sehr ausgeprägt oder in geringem Maße vorhanden war. In beiden Fällen hatte die Bioökonomie jenseits von Einzelmaßnahmen bislang selten Eingang in strategische Überlegungen gefunden. Es gelang durch die Einbindung der Akteure in den Strategieprozess, sie für die Thematik zu sensibilisieren und zur weiteren Befassung damit zu motivieren. Insgesamt ist eine hohe Aufgeschlossenheit für die Bioökonomie festzustellen. Eine Restriktion, auf die die zahlreichen kommunalen Akteure hinwiesen, sind eng begrenzte bzw. bereits gebundene finanzielle und personelle Ressourcen. Auch die Auslastung durch laufende Umstrukturierungen und Pflichten bindet Kapazitäten und ist zum Teil mit Fristen versehen, die eine Abstimmung zur Koppelnutzungen bspw. im Bereich Energie erschweren. Dies stellt derzeit ein Hemmnis für die tatsächliche Ausweitung der Aktivitäten in der Bioökonomie und die Durchführung neuer Maßnahmen dar.

7. Relevanz für die TechnologieRegion Karlsruhe

Die TechnologieRegion Karlsruhe ist forschungs-, innovations- und wirtschaftsstarke. Ihre Wirtschaftsstruktur wird vom Dienstleistungssektor dominiert, gefolgt von der Automobilindustrie mit den damit verknüpften vorgelagerten Branchen und Zulieferern. Angesichts des technologischen und strukturellen Wandels in der Automobilindustrie, weg vom Verbrenner hin zur Elektromobilität, steht die Region vor der Herausforderung, diesen Unternehmen Zukunftsperspektiven aufzuzeigen, um Beschäftigung und Wohlstand in der Region langfristig zu sichern. Gleiches gilt für die größte Mineralölraffinerie Deutschlands mit Standort Karlsruhe, die einen Transformationsprozess zur Defossilisierung durchlaufen muss.

Um auch in der Zukunft ein attraktiver und angesichts sektoraler und globaler Krisen resilienter Wirtschaftsstandort mit hoher Lebensqualität für die Bevölkerung zu sein, steht die TechnologieRegion Karlsruhe vor der Herausforderung, Potenziale für innovative Prozesse, Produkte und Dienstleistungen auszuschöpfen. Zudem muss die Region eine zukunfts- und krisenfeste Versorgung mit Energie, Wasser und Rohstoffen sowie eine umwelt- und klimagerechte Entsorgung gewährleisten. Dabei muss sie auch neuen, strengeren gesetzlichen Anforderungen gerecht werden, die auf den effizienten Umgang mit endlichen Ressourcen abzielen. Dies erfordert ressourcen- und klimaschonende Produktion und Dienstleistungen und zwar möglichst im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft.

Wie im Kapitel Trends aufgezeigt, bietet eine nachhaltige, kreislaforientierte Bioökonomie, die auf regional anfallende Reststoffe, Abwasser und CO₂ als Rohstoffe setzt, Lösungsoptionen für die oben genannten Herausforderungen in der TechnologieRegion.

Die nachstehende SWOT-Darstellung zeigt, auf welche regionalen Stärken (S, strengths) die TRK aufsetzen kann, wenn sie neben den bereits etablierten Schwerpunkten Energie, Mobilität und Digitalisierung die Bioökonomie als weiteren Schwerpunkt auf- und ausbaut. Zudem werden die Schwächen (W, weaknesses), Chancen (O, opportunities) und Risiken (T, threats) aufgezeigt, die beim Auf- und Ausbau eines solchen Schwerpunkts strategisch berücksichtigt werden sollten.

7.1 Schlussfolgerungen für das Regionalprofil

Die TechnologieRegion Karlsruhe kann aufgrund ihres Kompetenzprofils drei große Bereiche der Bioökonomie abdecken:

- Innovationen in der Bioökonomie insbesondere bei Enabling Technologies für Bioökonomie
- Urbane Kreislaufwirtschaft unter Nutzung von biogenen Reststoffströmen und CO₂
- Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in den Landkreisen im periurbanen Raum und insbesondere mit der Einbeziehung von Südpfalz und Nordelsass

Die Region weist besondere Stärken in Forschung und Entwicklung, Bildung und Innovation auf. Schwerpunkte bestehen insbesondere in den Ingenieur- und Naturwissenschaften, sowie in den bereits bestehenden Clustern zu Energie, Mobilität und Digitalisierung. Dies sind Kompetenzen, die gerade für ein Scale-up von Bioökonomieinnovationen in die industrielle Umsetzung von zentraler Bedeutung sind.

Deshalb soll der Kompetenzschwerpunkt Bioökonomie mit dem Ziel auf- und ausgebaut werden, die TechnologieRegion Karlsruhe national und international als Modellregion einer kreislaforientierten, nachhaltigen Bioökonomie zu positionieren, die ihren Schwerpunkt auf die gemeinsame Erforschung, Entwicklung und Überführung in die industrielle Anwendung von Verfahren und Produkten legt.

Tabelle 2: SWOT-Analyse für Bioökonomie in der TechnologieRegion Karlsruhe

Forschungs und Innovationsstärke

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Breit aufgestellte FuE-Landschaft der Bioökonomie • FuE-Aktivitäten decken ein breites Themenspektrum ab und reichen von der Grundlagenforschung bis zu Pilot- und Demonstrationsentwicklungen • Hohe FuE-Kompetenzen vorhanden, um auf hohem internationalen Niveau bioökonomierelevante Forschung zu betreiben, die auf Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Nutzung biogener Reststoffe und CO₂ ausgerichtet ist • Besondere Stärken in der Anwendung der Ingenieurwissenschaften auf die Bioökonomie • aktuelle Schwerpunkte: <ul style="list-style-type: none"> • bioliq®-Pilotanlage zur Herstellung von Kraftstoff aus pflanzlichen Reststoffen • Energy Lab2.0: P2X-Aktivitäten zur CO₂-Nutzung, CO₂-Nutzung in Kläranlagen • KIT-Zentrum Klima und Umwelt: Kreislaufwirtschaft, biobasierte Wertschöpfungsketten, Pflanzenbasierte Baustoffe im Gebäudelebenszyklus • Biobasierte Materialien • Entwicklung innovativer Produktionsanlagen (vertical farming, Insektenzucht) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarkeit und überregionale Vernetzung der vorhandenen Bioökonomie-FuE- und Innovationsaktivitäten als regionaler Schwerpunkt sind ausbaufähig • Bekanntheitsgrad und Sichtbarkeit als forschungs- und innovationsstarker Standort für Bioökonomie-FuE und als Vorreiter bei der Entwicklung von Bioökonomie-Technologien entspricht noch nicht den Kompetenzen und Potenzialen der Region • Vernetzung der FuE-Akteure aus der Bioökonomie untereinander und mit Unternehmen und kommunalen Akteuren als potenzielle Nutzer und Anwender von Bioökonomie-Innovationen sind ausbaufähig • Teilweise fehlende Kenntnis über die in der Region vorhandenen Kompetenzträger, Kooperationspotenziale noch nicht ausgeschöpft • Bei kommunalen Akteuren eng begrenzte bzw. bereits gebundene finanzielle und personelle Ressourcen als Einschränkung für die Ausweitung der Aktivitäten in der Bioökonomie und Durchführung neuer Maßnahmen

Kompetenzprofil der Region

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Hervorragende Kompetenzen in FuE-Einrichtungen und Unternehmen in den Ingenieurwissenschaften, Automobil- und Maschinenbau, Herstellung, Installation und Reparatur von Anlagen, Maschinen und Ausrüstungen aller Art sowie in der Digitalisierung, die auch für die Bioökonomie essenziell sind • Etablierte regionale Cluster und Netzwerke in den Branchen Automotive/Mobilität, IKT/Digitalisierung, Energie/Umwelttechnologien, Sensorik, Nanotechnologie, hohes Potenzial für Synergien bei Vernetzung mit Bioökonomie • Breit aufgestellte Bildungslandschaft mit KIT, weiteren Hochschulen, Biotechnologie-Gymnasien, IHK und Handwerkskammer sowie etablierten Bildungsformaten für diverse Zielgruppen der allgemeinen Bevölkerung; besondere Stärken in Informatik, Ingenieurwissenschaften, Verfahrenstechnik • Etablierte und bewährte Strukturen, Zuständigkeiten und Aktivitäten für funktionierende Kooperation Wissenschaft, Wirtschaft, Politik • Bestehendes Netzwerk zur Nutzung biobasierter Fasern mit den Schwerpunkten: Bauwirtschaft, Lebensmittel, Verpackung/Formteile 	<ul style="list-style-type: none"> • FuE-Einrichtungen und Unternehmen im Bereich Ingenieurwesen, Maschinen- und Anlagenbau, Digitalisierung können die Bioökonomie als strategisch wichtiges Anwendungsfeld ihrer Kompetenzen noch stärker erschliessen • In anderen Regionen stellen die chemische und die pharmazeutische Industrie anspruchsvolle Nachfrager nach Prozess- und Produktinnovationen in der Bioökonomie dar bzw. treiben sie selber voran. In der TRK spielen diese Branchen gemessen an der Gesamtwirtschaft nur in Teilräumen eine relevante Rolle.

Kompetenzschwerpunkt Bioökonomie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Seit 2020 Etablierung des neuen Kernkompetenz-Schwerpunkts Bioökonomie durch Netzwerkaktivitäten der TRK GmbH • Große Offenheit und Aufgeschlossenheit zentraler Akteure gegenüber der Bioökonomie, Interesse und Motivation vorhanden, sich weiter mit BÖ zu befassen • Erfolgreiche Erweiterung des TRK-Bioökonomie-Netzwerks um kommunale Akteure, hohe Sichtbarkeit des Themas bei politischen Entscheidungsträgern erreicht 	

Rohstoffe

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Erfassungsquote von biogenen Reststoffen (Grünschnitt, Biotonne) • Laufende Aktivitäten zur weiteren Erhöhung der Erfassungsquote und der Qualität biogener Reststoffe • Potenzial zur höherwertigen Kaskadenverwertung oder Biokohleproduktion vorhanden • MiRO als größte Mineralölraffinerie Deutschlands mit Standort Karlsruhe hat Defossilisierungs-Transformationsprozess begonnen. Grüner Wasserstoff, biobasierte Feedstocks und Umsetzung von CO₂ in chemische Verbindungen bieten potenzielle Schnittstellen zur Bioökonomie und biotechnischen CO₂-Nutzung. • Logistikinfrastruktur im Raum Karlsruhe für Bereitstellung von grünem Wasserstoff im Wasserstoffkernnetz der Bundesregierung in Planung • Ländliche Teilräume mit relevanten Produktionsmengen im Bereich Holzwirtschaft, Weinbau, Gemüsebau. Bestehende NawaRo-Produktion mit Eignung für den Ausbau in der Rheinebene und Kraichgau 	<ul style="list-style-type: none"> • Noch geringe Vernetzung von Rohstoff- und Reststoffanbietenden mit Verwertenden

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Bioökonomie hat innovationspolitische Priorität auf EU-, Bundes- und Landesebene • Innovationspolitik hat die hohe Bedeutung von Regionen für die Transformation zur Bioökonomie erkannt und fördert diese zunehmend • Bioökonomie als Chance, aktuell regional starke Branchen zukunftsfest aufzustellen, die dem technologischen und strukturellen Wandel stark unterworfen sind (Automobil, Zulieferer, MiRO) • Kreislauforientierte Bioökonomie als Beitrag zur zukunfts- und krisenfesten Versorgung mit Energie, Wasser und Rohstoffen sowie eine umwelt- und klimagerechte Entsorgung • Steigende Bedeutung von Kaskadennutzungen von (Teil-)Reststoffströmen • Bioökonomie als Beitrag den sich verschärfenden gesetzlichen Anforderungen bei der Roh- und Reststoffnutzung und der Emission von Klimagasen gerecht zu werden • Zunehmende Industriereife von Bioökonomie-Innovationen erfordern ingenieurwissenschaftliche Kompetenz und Fachkräfte für Scale-up, Produktionsanlagen, Logistikkonzepte, Digitalisierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Angesichts vielfältiger Herausforderungen andere Prioritätensetzungen in Politik, Kommunen und Unternehmen zu Lasten der Bioökonomie • Unzureichende politische Klarheit und Verlässlichkeit für langfristige strategische und Investitionsplanungen • Förderlücken in der notwendigen Entwicklung von Forschung bis Markteinführung • Pfadabhängigkeiten • Inflation und Kostensteigerungen • Mangel an Fachkräften • Lieferkettenprobleme

8. Stoffstromanalyse zur Identifizierung und Quantifizierung der biogenen Reststoffströme

Im Vorhaben wurde durch das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB eine Stoffstromanalyse zur Identifizierung und Quantifizierung der Reststoffströme auf Basis öffentlich verfügbarer Datensätze durchgeführt. Die Analyse wurde zunächst für den baden-württembergischen Teil der TechnologieRegion Karlsruhe (TRK-MO) mit den Landkreisen Rastatt und Karlsruhe, sowie den Stadtkreisen Karlsruhe und Baden-Baden durchgeführt. Die weiteren Teilräume der TRK sind in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt und sollen zu einem späteren Zeitpunkt untersucht werden. Eine direkte Gegenüberstellung der Daten aus TRK-MO mit denen der Teilräume Südpfalz (TRK-PA) und Nordelsass (TRK-NA) ist auf Grund der jeweils unterschiedlichen Erfassung und Kategorisierung des Abfallaufkommens in den zuständigen Behörden nicht ohne weiteres möglich. Eine gezielte Erfassung der Abfälle vergleichbarer Kategorien wird zukünftig angestrebt.

Begleitend wurden 28 Interviews mit Stakeholdern (12 kommunale Stellen, 10 Unternehmen und 6 Forschungsgruppen) aus der Region durchgeführt, um Hinweise zu relevanten Stoffströmen aus öffentlicher und nicht-öffentlicher Sammlung, insbesondere industriellen Restströmen, zu erhalten und mehr über die derzeitigen Entsorgungswege und Prozesse sowie die Einstellung der Stakeholder zu alternativen Nutzungen zu erfahren. Ein weiteres Ziel der Interviews war es, die Stakeholder frühzeitig in die Strategieentwicklung mit einzubinden und für zukünftige, durch die Bioökonomisierung entstehende Fragestellungen zu sensibilisieren.

Im ersten Abschnitt der Stoffstromanalyse werden die Stoffströme der TRK-MO quantitativ dargestellt. Schlussfolgerungen daraus werden im zweiten Teil Verwertung und Nutzungspotenziale der Stoffströme präsentiert. In den zweiten Teil der Untersuchung fließen auch Informationen aus den Stakeholder-Interviews mit ein, sodass die quantitativen Daten durch qualitative Daten gestützt werden.

8.1 Stoffstromanalyse

Die Datengrundlage aller hier beschriebenen Abfallströme, ausgenommen des Klärschlammes, stützt sich auf das statistische Landesamt und bezieht sich auf das Jahr 2021. Die Angaben über den Klärschlamm wurden der Abfallbilanz 2021 entnommen. Dabei muss beachtet werden, dass durch die Corona Pandemie im Jahr 2021 ein überdurchschnittliches Abfallaufkommen anfiel (Abfallbilanz 2021). Insbesondere das Aufkommen von Haus- und Sperrmüll sowie von Abfällen aus der Biotonne war gegenüber dem Aufkommen in 2019 leicht erhöht. So ergab sich bspw. für das Haus- und Sperrmüllaufkommen mit 144 kg/E in 2021 ein Plus von 4,5 kg /E gegenüber dem Aufkommen in 2019. Auch für das Aufkommen von Abfällen aus der Biotonne mit 58 kg/E in 2021 war ein Plus von 6,3 kg/Ea gegenüber dem entsprechenden Aufkommen in 2019 zu verzeichnen.

Tabelle 3 gibt einen Überblick zu den im Jahr 2021 angefallenen Stoffströmen in der TRK-MO, welche im weiteren Verlauf für den Stadtkreis Baden-Baden, Stadtkreis Karlsruhe, Landkreis Karlsruhe und Landkreis Rastatt spezifiziert werden. Diese Betrachtung wurde zunächst für den baden-württembergischen Teil der TRK begonnen.

Das Primärabfallaufkommen in der TRK-MO belief sich im Jahr 2021 auf 772.000t und setzt sich aus den zehn folgenden Fraktionen zusammen, die in Tab. 1 mit dem jeweiligen absoluten sowie dem relativen Aufkommen, bezogen auf das gesamte Aufkommen an Primärabfall, gelistet sind:

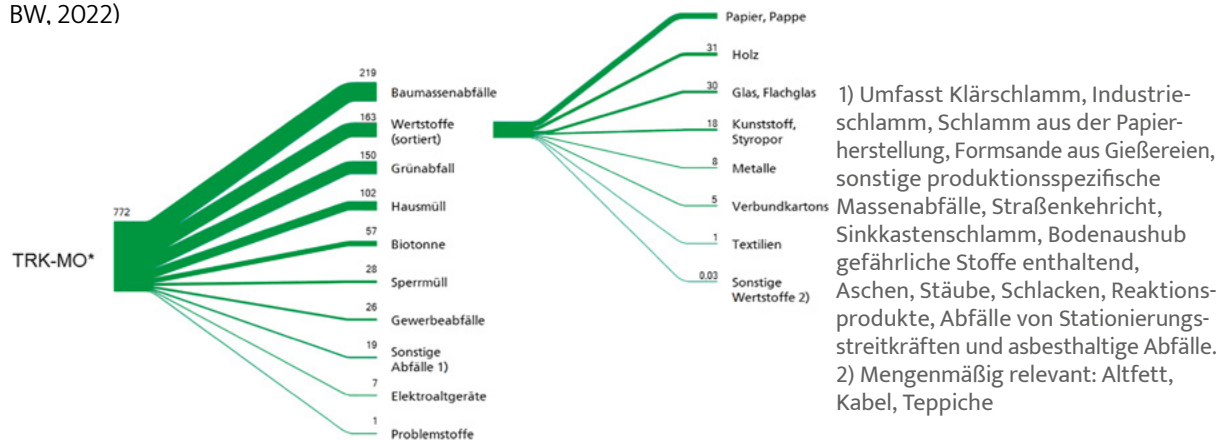
Tabelle 3: Abfallfraktionen der TRK-MO (2021) (Quelle: Statistisches Landesamt BW, 2022⁴⁸)

Abfallfraktion	Aufkommen [t]	%	Abfallfraktion	Aufkommen [t]	%
Baumassenabfälle	219.000	28,4	Sperrmüll	28.000	3,6
Wertstoffe 1	163.000	21,2	Gewerbeabfälle	26.000	3,4
Grünabfall	150.000	19,5	Sonstige Abfälle	19.000	2,5
Hausmüll	102.000	13,2	Elektroaltgeräte	7.000	0,9
Abfälle aus der Biotonne	57.000	7,4	Problemstoffe	1.000	0,1

¹Bestehend aus 8 Fraktionen

Dabei stellen die Fraktionen Baumassenabfälle, Wertstoffe und Grünabfall die drei größten Fraktionen dar und machen zusammen nahezu 70 % des gesamten Aufkommens an Primärabfall aus. Für die Fraktion der Wertstoffe werden acht Unterfraktionen unterschieden und folgende Aufkommen für 2021 angegeben: Papier/Pappe 70.000 t, Holz 31.000 t, Glas 30.000 t, Kunststoff/ Styropor 18.000 t, Metalle 8.000 t, Verbundkartons 5.000 t, Textilien 1.000 t, sonstige Wertstoffe 32 t.

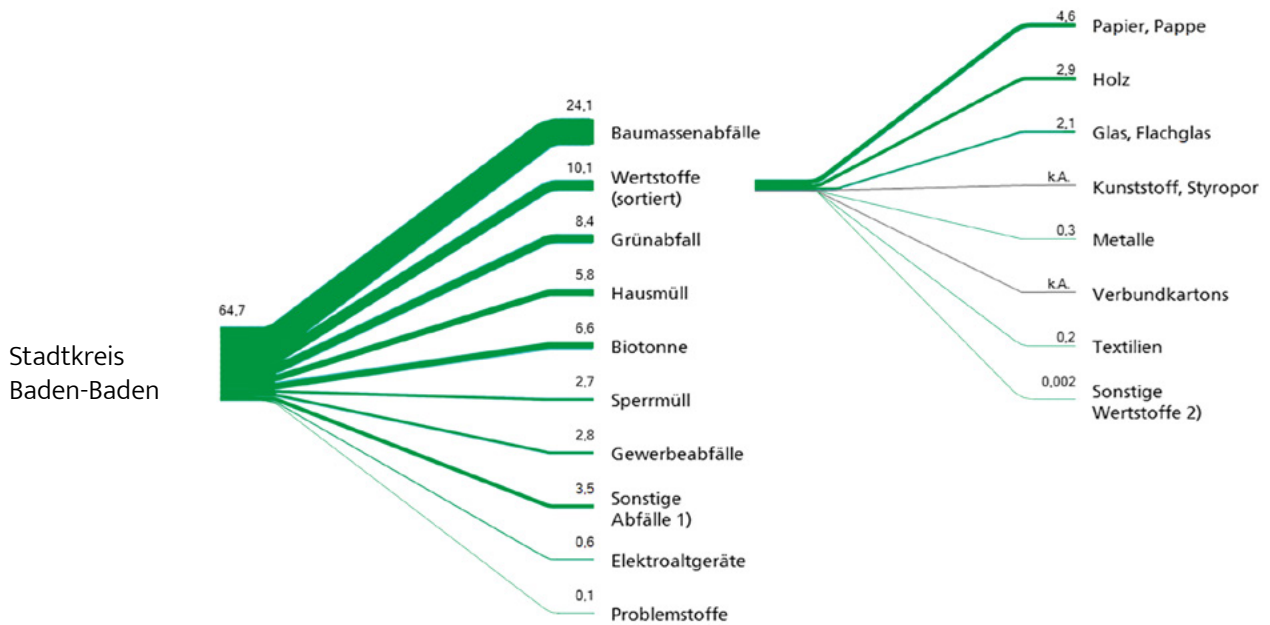
Abbildung 2: Rest- und Abfallströme in der TRK-MO 2021 [in 1.000 Tonnen] (Quelle: Statistisches Landesamt BW, 2022)



In der Statistik des Statistischen Landesamtes BW, wird Klärschlamm als Teil der Kategorie „sonstige Abfälle“ geführt (vgl. **Abbildung 2**). Dabei handelt es sich v.a. um Klärschlamm aus industriellen Abwasserreinigungsanlagen. Laut der Abfallbilanz BW 2021 lag das kommunale Klärschlammaufkommen im Jahr 2021 für die Region TRK-MO bei 26.600 t Trockenmasse (TM). Da der angegebene Wert höher als die Summe der sonstigen Abfälle ist, wird vermutet, dass sich die 19.000 t auf Klärschlammaschen beziehen. Der Bericht des Statistischen Landesamtes beinhaltet keine Erläuterung hierzu. Das Klärschlammaufkommen in der TRK-MO beläuft sich auf 26.600 t Trockenmasse pro Jahr, gegenüber 238.000 t in Baden-Württemberg 2021 und gliedert folgendermaßen: Stadtkreis Karlsruhe 11.500 t, Landkreis Karlsruhe 8.900 t und Landkreis Rastatt & Stadtkreis Baden-Baden 6.100 t. Dabei ist zu beachten, dass das Einzugsgebiet der jeweiligen Kläranlagen in einer Gebietskörperschaft nicht unmittelbar mit dem Abwasseraufkommen im entsprechenden Raum übereinstimmt (vgl. Abfallbilanz Baden-Württemberg 2021). Für eine effiziente Nutzung sekundärer Rohstoffe ist ein hoher Homogenitätsgrad der Stoffströme notwendig, weshalb es vorerst zielführender ist, sich auf den reinen Stoffstrom der kommunalen Klärschlämme zu fokussieren.

⁴⁸) Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022), Umwelt, Artikel-Nr. 3651 21001, Statistische Berichte Baden-Württemberg: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021

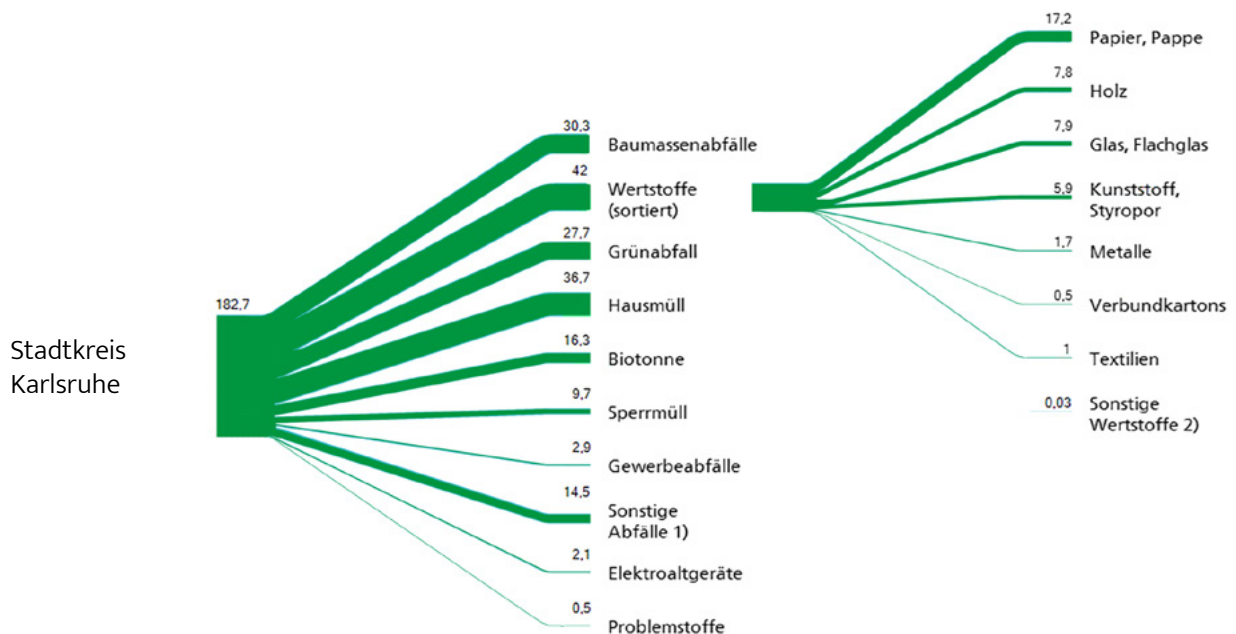
Abbildung 3: Übersicht der Rest- und Abfallströme in der TRK-MO 2021 [in 1.000 Tonnen]. Darstellung nach Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022)



1) Umfasst Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehrschutt, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

2) Altfett, Kabel, Teppiche

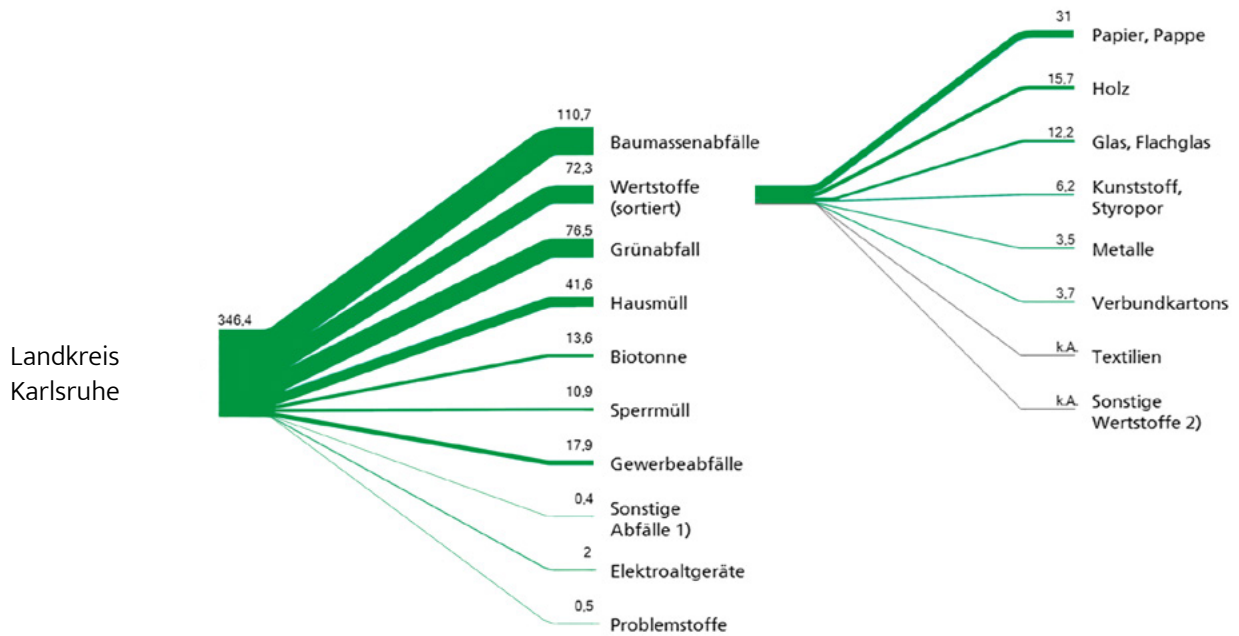
Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022), Umwelt, Artikel-Nr. 3651 21001, Statistische Berichte Baden-Württemberg: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 Klärschlamm: Abfallbilanz 2021, S. 86



1) Umfasst Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehrschutt, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

2) Altfett, Kabel, Teppiche

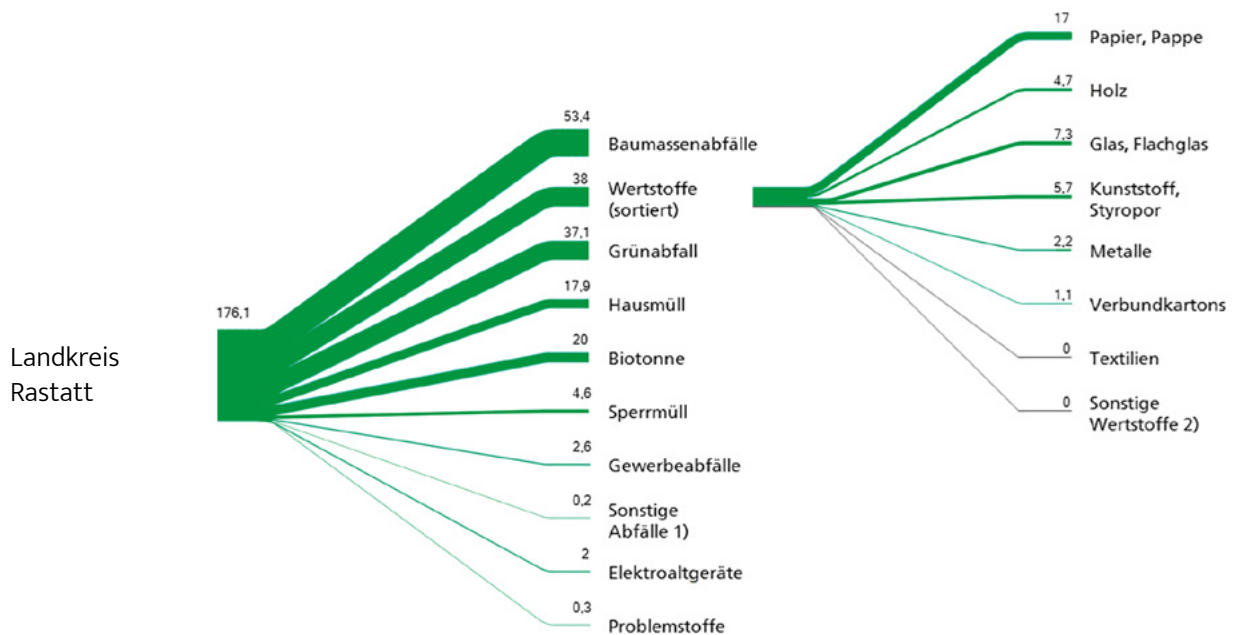
Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022), Umwelt, Artikel-Nr. 3651 21001, Statistische Berichte Baden-Württemberg: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 Klärschlamm: Abfallbilanz 2021, S. 86



1) Umfasst Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehrschutt, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

2) Altfett, Kabel, Teppiche

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022), Umwelt, Artikel-Nr. 3651 21001, Statistische Berichte Baden-Württemberg: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 Klärschlamm: Abfallbilanz 2021, S. 86



1) Umfasst Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehrschutt, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

2) Altfett, Kabel, Teppiche

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022), Umwelt, Artikel-Nr. 3651 21001, Statistische Berichte Baden-Württemberg: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 Klärschlamm: Abfallbilanz 2021, S. 86

8.2 Stoffstromanalyse der Stadt- und Landkreise

Die TRK-MO besteht aus den Landkreisen Rastatt und Karlsruhe, sowie aus den Stadtkreisen Karlsruhe und Baden-Baden. Im Folgenden wird das kommunale Abfallaufkommen der TRK aus dem vorherigen Abschnitt in die Stadt- und Landkreise aufgliedert. Dabei werden die größten Stoffströme hervorgehoben und in Bezug zum Durchschnitt von Baden-Württemberg gestellt. Die durchschnittlichen Werte für Baden-Württemberg sind für die jeweiligen Fraktionen im Folgenden gelistet:

Primärabfall	1.076 kg/Ea	Baumassenabfälle	570 kg/Ea
Abfälle aus der Biotonne	58 kg/Ea	Hausmüll	121 kg/Ea
Grünabfälle	94 kg/Ea	Metalle	8,3 kg/Ea
Sperrmüll	23 kg/Ea	Holz	26 kg/Ea
Gewerbe- und Baustellenabfälle	18 kg/Ea	Verbundkartons	1,6 kg/Ea
Elektroaltgeräte	7,3 kg/Ea	Kunststoffe	8,1 kg/Ea

8.2.1 Stadtkreis Baden-Baden

Für den Stadtkreis Baden-Baden wurden 64.700 t Primärabfall im Jahr 2021 erfasst. **Abbildung 3** zeigt die einzelnen Abfallströme, die 2021 im Stadtkreis Baden-Baden erhoben worden sind: 24.100 t Baumassenabfälle, 10.100 t Wertstoffe, 8.400 t Grünabfall, 6.600 t Biotonne, 5.800 t Hausmüll, 3.500 t sonstige Abfälle, 2.700 t Sperrmüll, 2.800 t Gewerbeabfälle, 600 t Elektroaltgeräte und 100 t Problemstoffe.

Folgende Wertstoffe wurden getrennt erfasst: 4.600 t Papier/Pappe, 2.900 t Holz, 2.100 t Glas/ Flachglas, 300 t Metalle, 200 t Textilien. (Für Verbundkartons, Kunststoffe, Styropor liegen keine Angaben, vor.)

Im Stadtkreis Baden-Baden gibt es keine Angaben über das Klärschlammaufkommen. Da sich auf dem Stadtkreisgebiet keine Kläranlage befindet und die Abwasserreinigung in den Kläranlagen erfolgt, die an der Grenze und im Kreis Rastatt liegen, gibt es im Stadtkreis Baden-Baden offiziell kein Klärschlammaufkommen. Infolgedessen ist das Klärschlammaufkommen im Kreis Rastatt vergleichsweise hoch.

Im Vergleich zu den anderen Stadt- und Landkreisen in der TRK ist das jährliche pro Kopf Aufkommen an **Primärabfall** in Baden-Baden am höchsten und liegt mit 1.198,9 kg/Ea (Kilogramm pro Einwohner und Jahr) auch 11 % über dem Durchschnitt in Baden-Württemberg, welcher 1.075,8 kg/Ea beträgt.

Auffällig groß sind auch die Stoffströme der **Grünabfälle** und **Abfälle aus der Biotonne**, welche mit 151 kg/Ea und 119 kg/Ea ein Plus von 61 % bzw. 105 % über dem Durchschnitt in Baden-Württemberg von 94 kg/Ea bzw. 58 kg/Ea aufweisen. Die Abfälle aus der Biotonne im Stadtkreis Baden-Baden sind damit das größte durchschnittliche Aufkommen in ganz Baden-Württemberg.

Auch **Sperrmüll** (48 kg/Ea), **Gewerbe- und Baustellenabfälle** (51 kg/Ea) sowie **Elektroaltgeräte** (11,5 kg/Ea) liegen mit einem Plus von jeweils 109 %, 183 % und 58 % deutlich über dem Durchschnitt von Baden-Württemberg (Sperrmüll: 23 kg/Ea, Gewerbe- und Baustellenabfälle 18 kg/Ea, Elektroaltgeräte 7,3 kg/Ea).

Demgegenüber liegen die Mengen der Baumassenabfälle (435 kg/Ea), des Hausmülls (106 kg/Ea) und der Metalle (5,5 kg/Ea) jeweils unter dem Landesdurchschnitt (Baumassenabfälle 570 kg/Ea, Hausmüll 121 kg/Ea, Metalle 8,3 kg/Ea). Trotzdem bilden auch in Baden-Baden die Baumassenabfälle den größten Massenstrom (**Abbildung 2**).

Bei Betrachtung der getrennt gesammelten Wertstoffe hebt sich das Holz mit 52 kg/Ea und somit einem Plus von 58 % im Vergleich zum Landesdurchschnitt (26 kg/Ea) hervor.

8.2.2 Stadtkreis Karlsruhe

Im Stadtkreis Karlsruhe fielen im Jahr 2021 182.700 t Primärabfall an. In **Abbildung 2** sind die einzelnen Abfallströme des Stadtkreises dargestellt. Der Primärabfall setzt sich somit aus 30.300 t Baumassenabfällen, 42.000 t Wertstoffe, 36.700 t Hausmüll, 27.700 t Grünabfall, 16.300 t Abfälle aus der Biotonne, 14.500 t sonstige Abfälle, 9.700 t Sperrmüll, 2.900 t Gewerbeabfälle, 2.100 t Elektroaltgeräte und 500 t Problemstoffe zusammen.

Die 42.000 t **Wertstoffe** umfassen dabei 17.200 t **Papier/Pappe**, 7.800 t Holz, 7.900 t Glas/Flachglas, 5.900 t Kunststoff/Styropor, 1.700 t Metalle, 1.000 t Textilien, 500 t Verbundkartons und 25 t sonstige Wertstoffe. Laut der Abfallbilanz 2021 fielen im Jahr 2021 11.500 t kommunaler Klärschlamm im Stadtkreis Karlsruhe an.

Damit sind die Wertstoffe der größte Massenstrom im Stadtkreis, insbesondere Papier/Pappe. Im Vergleich zum pro Kopf Aufkommen in Baden-Württemberg liegen jedoch sowohl die Wertstoffe allgemein (Baden-Württemberg: 142 kg/Ea; Stadt Karlsruhe: 137 kg/Ea) als auch Papier/Pappe im Besonderen (BW: 70 kg/Ea; KA: 56 kg/Ea) leicht unter dem Durchschnitt.

Des Weiteren stellen sich Hausmüll (120 kg/Ea), Baumasse (99 kg/Ea), Grünabfall (90 kg/Ea) und Abfälle aus der Biotonne (53 kg/Ea) als große Fraktionen heraus. Deren Aufkommen liegen jedoch alle leicht unter dem Landesdurchschnitt.

Klärschlamm (38 kg/Ea), **Kunststoffe** (19 kg/Ea) und Textilien (3 kg/Ea) hingegen liegen über dem Durchschnitt in Baden-Württemberg.

Auffällig ist der verhältnismäßig geringe Stoffstrom der Baumassenabfälle, welcher mit 99 kg/Ea mit einem Minus von 83 % unter dem durchschnittlichen Wert in Baden-Württemberg (570 kg/Ea) liegt.

8.2.3 Landkreis Karlsruhe

Im Landkreis Karlsruhe fielen im Jahr 2021 insgesamt 346.400 t Primärabfall an, hiervon nehmen die Baumassenabfälle mit 110.700 t den größten Anteil ein. Gefolgt von Grünabfall mit 76.500 t und Wertstoffen mit 72.300 t. Die Menge an Hausmüll betrug 41.600 t, gefolgt von Gewerbeabfällen mit 17.900 t, Abfällen aus der Biotonne mit 13.600 t, Sperrmüll mit 10.900 t, Elektroaltgeräten mit 2.000 t, Problemstoffen mit 500 t und sonstigen Abfällen mit 400 t.

Die Wertstoffe lassen sich weiter differenzieren (gerundet auf tausend t): 31.000 t Papier und Pappe, 16.000 t Holz, 12.000 t Glas und Flachglas, 6.000 t Kunststoff und Styropor, 4.000 t Metall und 4.000 t Verbundkartons.

Laut der Abfallbilanz 2021 lag das Aufkommen an kommunalem Klärschlamm im Landkreis Karlsruhe 2021 bei 8.900 t.

Die **Baumassenabfälle** stellen somit den größten Stoffstrom im Landkreis Karlsruhe dar, gefolgt von **Grünabfall** und **Wertstoffen**. Während die Baumassenabfälle mit 274 kg/Ea 52 % unter dem Durchschnitt von Baden-Württemberg (570 kg/Ea) liegen, liegen die Grünabfälle mit 171 kg/Ea mit einem Plus von 82 % über dem Durchschnitt. Von den Wertstoffen heben sich insbesondere die **Verbundkartons** mit 413 %, aber auch Kunststoffe mit 69 % und Holz mit 34 % vom Landesdurchschnitt ab.

Tabelle 4: OBEN Primärabfallaufkommen in der TRK-MO 2021 (Statistisches Landesamt BW, 2022) UNTEN Primärabfallaufkommen pro Einwohner und Jahr in der TRK-MO (Quelle: Abfallbilanz BW 2021). Für das Pro-Kopf Aufkommen an TM Klärschlamm gibt die Abfallbilanz BW 2021 an: Landesdurchschnitt 21,4 kg/Ea; Durchschnitt TRK 21,0 kg/Ea; SKR Baden-Baden 0 kg/Ea, SKR Karlsruhe 37,5 kg/Ea, LKR Karlsruhe 20 kg/Ea, LKR Rastatt 26,5 kg/Ea. Auch hier können Erfassung und Aufkommen nur teilweise differenziert werden. Deutliche Abweichungen vom Mittel sind grün hinterlegt.

Kreis	Primärabfallaufkommen insgesamt	[in 1.000 t]										Durchschnittsaufkommen [kg/Ea]
		Bau-massen-abfälle	Wert-stoffe	Grün-abfälle	Haus-müll	Bio-tonne	Sperr-müll	Gewer-be-/Bau-stellen-abfälle	Sonstige Abfälle	Elektro-Altgeräte	Problem-stoffe	
Baden-Württemberg	11.953	6.330,5	1.579,2	1.039,2	1.340,4	639,9	261,0	203,7	227,2	80,8	9,7	
SKR Baden-Baden	64,7	24,1	10,1	8,4	5,8	6,6	2,7	2,8	3,5	0,6	0,1	
SKR Karlsruhe	182,7	30,3	42	27,7	36,7	16,3	9,7	2,9	14,5	2,1	0,5	
LKR Karlsruhe	346,4	110,7	72,3	76,5	41,6	13,6	10,9	17,9	0,4	2,0	0,5	
LKR Rastatt	176,1	53,4	38	37,1	17,9	20,0	4,6	2,6	0,2	2,0	0,3	
Summe TRK-MO	772	218,5	162,5	149,6	102,0	56,5	27,9	26,2	18,6	6,7	1,4	
Durchschnittsaufkommen [kg/Ea]												
Baden-Württemberg	1.075,8	569,8	142	94	121	58	23	18	20,4	7,3	0,87	
SKR Baden-Baden	1.198,9	435,2	183,0	151,0	105,6	119,0	48,1	51,0	63,2	11,5	1,7	
SKR Karlsruhe	616,7	98,8	137,0	90,0	119,5	53,0	31,8	9,0	47,3	7,0	1,6	
LKR Karlsruhe	836,9	247,2	161,0	171,0	92,8	30,0	24,3	40,0	0,9	4,4	1,0	
LKR Rastatt	774,6	229,9	164,0	160,0	77,2	86,0	19,7	11,0	0,9	8,8	1,1	
Ø TRK-MO	856,8	252,8	161,3	143,0	98,8	72,0	31,0	27,8	28,1	7,9	1,3	

Tabelle 5: OBEN Wertstoffaufkommen in der TRK-MO 2021 (Statistisches Landesamt BW, 2022) UNTEN Wertstoffaufkommen pro Einwohner und Jahr in der TRK-MO (Quelle: Abfallbilanz BW 2021). Deutliche Abweichungen vom Mittel sind grün hinterlegt.

Kreis Bundesland	Wertstoff- menge insgesamt	[in 1.000 t]							Sonstige Wert- stoffe ²⁾
		Papier/ Pappe	Glas/ Flachglas	Metalle	Kunst- stoffe/ Styropor	Verbund- kartons	Holz	Textilien	
Baden-Württemberg	1.579,2	772,6	298,2	91,8	90,2	18	290,8	16,5	1,1
SKR Baden-Baden	10,1	4,6	2,1	0,3	-	-	2,9	0,2	0,002
SKR Karlsruhe	42,0	17,2	7,9	1,7	5,9	0,5	7,8	1,0	0,025
LKR Karlsruhe	72,3	31,0	12,2	3,5	6,2	3,7	15,7	-	-
LKR Rastatt	38,0	17,0	7,3	2,2	5,7	1,1	4,7	0,0	0,005
Summe TRK-MO	162,5	69,7	29,6	7,8	17,8	5,3	31,0	1,3	0,032
Durchschnittsaufkommen [kg/Ea]									
Baden-Württemberg	142	70	27	8,3	8,1	1,6	26,2	1,5	0,1
SKR Baden-Baden	183,0	83	38	5,5	-	-	52,1	3,7	0,0
SKR Karlsruhe	137,0	56	26	5,5	19,2	1,55	25,3	3,4	0,1
LKR Karlsruhe	161,0	69	27	7,9	13,7	8,23	35,1	-	-
LKR Rastatt	164,0	73	31	9,6	24,6	4,90	20,1	0,1	0,0
Ø TRK-MO	161,3	70,3	30,5	7,1	14,4		33,1	1,8	0,0

8.2.4 Landkreis Rastatt

Im Landkreis Rastatt lag das Primärabfallaufkommen 2021 bei 176.100 t. Dieses setzte sich wie in **Abbildung 2** dargestellt, wie folgend zusammen: 53.400 t Baumassenabfälle, 38.000 t Wertstoffe, 37.100 t Grünabfall, 20.000 t Biotonne, 17.900 t Hausmüll, 4.600 t Sperrmüll, 2.600 t Gewerbeabfälle, 2.000 t Elektroaltgeräte, 300 t Problemstoffe und 200 t sonstige Abfälle.

Die Wertstoffe setzen sich dabei zusammen aus 17.000 t Papier und Pappe, 7.300 t Glas und Flachglas, 5.700 t Kunststoff und Styropor, 4.700 t Holz, 2.200 t Metalle und 1.100 t Verbundkartons.

Laut der Abfallbilanz 2021 fielen im Jahr 2021 6.100 t kommunaler Klärschlamm im Landkreis Rastatt an.

Auch im Landkreis Rastatt nehmen die Baumassenabfälle den größten Stoffstrom ein, liegen dennoch 60 % unter dem Durchschnitt von Baden-Württemberg. Die **Wertstoffe** hingegen, der zweitgrößte Stoffstrom des Landkreises liegen 15 % über dem durchschnittlichen Aufkommen. **Grünabfall und Biotonne**, zwei weitere große Aufkommen liegen ebenfalls 70 %, bzw. 48 % über dem Durchschnitt.

Bei Betrachtung der Wertstoffe fallen überwiegend Metalle (9,6 kg/Ea) und Kunststoffe (24,6 kg/Ea) mit einer Erhöhung um 16 % bzw. 204 % ins Gewicht.

8.3 Verwertung und Nutzungspotenziale der Stoffströme

8.3.1 Verwertung

In folgendem Kapitel wird auf die aktuelle Verwertung der Stoffströme eingegangen, mit dem Ziel, Potenziale für die zukünftige Steigerung der Verwertungsleistung im Sinne der nachhaltigen zirkulären Bioökonomie hervorzuheben.

Die Verwertung des Primärabfallaufkommens der TRK-MO zugehörigen Stadt- und Landkreise ist in Tabelle 6 aufgeführt. Demnach werden von den Abfällen 31 % stofflich, 26 % thermisch und 20 % biologisch verwertet und 23 % der Abfälle werden deponiert (Statistisches Landesamt BW, 2022).

Tabelle 6: Verwertung/Deponie Primärabfallaufkommen 2021 in der TRK-MO (Abfallbilanz BW 2021)

Bundesland	Kreis/Region	[in 1.000t]						
		Primärabfall- aufkommen	Verwertung/ Behandlung				Ablagerung	
			stofflich	biologisch	thermisch	sonstig	Deponie 1	Deponie 2
Baden- Württemberg	Baden-Baden (SKR)	66,4	18,8	11,9	18,1	0,1	-	17,4
	KA (SKR)	189,2	85,8	43,9	55,7	-	3,8	-
	KA (LKR)	374,8	102,9	59,9	99,9	0,5	1,0	110,6
	Rastatt (LKR)	179,9	40,9	46,0	40,1	0,9	2,3	49,7
	Summe	810,3	248,4	161,7	213,8	1,5	7,1	177,7
			31 %	20 %	26 %	0 %	1 %	22 %

Deponie 1: ehemals Hausmülldeponien, Deponie 2: ehemals Bodenaushub-/Bauschuttdeponien. Es stehen dabei nur Daten zur Verwertung für die Gesamtmenge des Primärabfalls zur Verfügung. Angaben zur Verwertung der einzelnen Fraktionen liegen nicht vor.

Um eine Abschätzung vornehmen zu können, wurde die Abfallbilanz BW 2021 herangezogen, in welcher die Art der Entsorgung der kommunalen Abfallströme auf Landesebene für die einzelnen Fraktionen angegeben ist. Die Entsorgungswege für die einzelnen Fraktionen mit jeweils prozentualer Angabe sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 nach Entsorgungsart (Abfallbilanz Baden-Württemberg 2021)

Abfallarten	Primärabfallaufkommen p.A. [1.000t]	stofflichen Verwertung	biologischen Verwertung	sonstigen Behandlung	mech.-biol. Behandlung	thermischen Behandlung	Verwertung auf Deponien	Ablagerung auf Deponien
Hausmüll	1340,4	0 %	0 %	0 %	8 %	92 %	0 %	0 %
Sperrmüll	261	29 %	0 %	1 %	0 %	70 %	0 %	0 %
Grünabfälle	1039,2	0,03 %	70 %	0 %	0 %	30 %	0 %	0 %
Biotonne	639,9	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Wertstoffe	1820,6	94 %	0 %	0 %	0 %	6 %	0 %	0 %
Gewerbe- und Baustellenabfälle	203,7	5 %	0 %	0 %	0 %	77 %	0 %	18 %
Problemstoffe	9,7	3 %	0 %	85 %	0 %	12 %	0 %	0 %
E-Altgeräte	80,8	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Baumassenabfälle	6330,8	10 %	0 %	0 %	0 %	0 %	7 %	83 %
Sonstige Abfälle	227,2	8 %	1 %	1 %	0 %	37 %	5 %	49 %
Summe	11953,3	21 %	11 %	0 %	1 %	17 %	4 %	45 %

Laut der Abfallbilanz wurden 2021 in Baden-Württemberg 45 % des Primärabfallaufkommens auf Deponien abgelagert, 21 % wurden stofflich verwertet, 17 % thermisch, 11 % wurden biologisch behandelt, 4 % wurden auf Deponien verwertet und 1 % wurde einer mechanisch-biologischen Behandlung zugeführt.

Bei den Abfällen, die auf Deponien abgelagert wurden, handelte es sich um Baumassenabfälle, sonstige Abfälle und Gewerbe- und Baustellenabfälle. Da diese Fraktionen jedoch etwa 50 % des Primärabfallaufkommens ausmachen, bedeutet dies, dass die übrigen etwa 50 % des Primärabfallaufkommens nahezu vollständig verwertet wurden. Dabei wurden Abfälle aus der Biotonne sowie die Grünabfälle zum größten Teil biologisch verwertet.

E-Altgeräte und Wertstoff wurden zu 100 % bzw. zu 94 % stofflich verwertet. Auch für Sperrmüll war die stoffliche Verwertung mit 29 % noch vergleichsweise hoch. Auch für die Fraktionen Gewerbe- und Baustellenabfälle, Problemstoffe, Baumassenabfälle und sonstige Abfälle wurde die stoffliche Verwertung angegeben, allerdings mit meist kleinen, prozentualen Anteilen, bis 10 %.

Die Abfälle aus der Biotonne wurden zu 100 % der biologischen Behandlung zugeführt, die Grünabfälle wurden zu 70 % biologisch behandelt. Die übrigen 30 % wurden in die thermische Verwertung gegeben. Der thermischen Verwertung wurden außerdem der Hausmüll zu 92 %, der Sperrmüll zu 70 % sowie auch Gewerbe- und Baustellenabfälle zu 77 % zugeführt. Sonstige Abfälle, Problemstoffe und Wertstoffe wurden ebenfalls zu etwas geringeren Anteilen (37 %, 12 % bzw. 6 %) thermisch verwertet.

Somit sind Hausmüll, Gewerbe- und Baustellenabfälle und Sperrmüll die größten Fraktionen des thermisch behandelten kommunalen Abfalls.

8.3.2 Nutzungspotenziale

Gemäß der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) sind die EU und ihre Mitgliedstaaten gesetzlich verpflichtet, Abfälle gemäß der Abfallhierarchie zu entsorgen. Diese Hierarchie umfasst fünf Stufen und ist in § 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes KRWG⁴⁹ festgelegt. Das Gesetz des Landes Baden-Württemberg zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Gewährleistung der umweltverträglichen Abfallbewirtschaftung LKreiWiG dient der Sicherstellung des effizienten Vollzuges und der Umsetzung der europa- und bundesrechtlichen Vorgaben, sowie der Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft, um eine ressourceneffiziente und -schonende, schadstoff- und abfallarme Umgebung zu schaffen^{50 51 52}. **Abbildung 4** zeigt die fünf Stufen der Abfallhierarchie, welche in der von oben nach unten Ordnung zu priorisieren sind: Vermeidung, Wiederverwertung (z. B. Reparatur, Reinigung, usw.), Recycling (Umwandlung in neue Produkte), Verwertung (z. B. thermisch), Beseitigung⁵³.

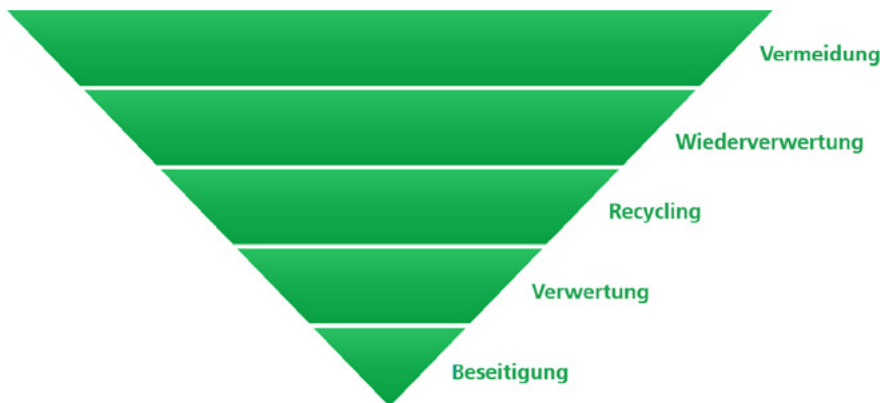


Abbildung 4:
Abfallhierarchie nach § 6
des Kreislaufwirtschafts-
gesetzes KRWG

Aktuell werden Abfälle zunehmend hinsichtlich einer Mehrfachnutzung, der sog. Kaskadennutzung, betrachtet, mit dem Ziel, die sekundären Rohstoffe möglichst lange im Kreislauf auf hochwertigem Niveau zu halten. Diese Kaskadennutzung ist bspw. für die Abfälle aus der Biotonne schon verwirklicht: Zunächst werden sie einer Biogasanlage zugeführt, wo daraus energiereiches Biogas erzeugt wird. Die dabei entstehenden Gärreste können dann zu Düngemitteln in Form von Kompost oder flüssigem Gärrest weitere Verwendung finden. So können aus den Abfällen durch biologische Behandlung die energetische sowie stoffliche Verwertung kombiniert werden: Aus 15.000 t Bioabfall können bspw. 1.000 MWh Bioenergie und 3.300 t Kompost gewonnen werden (Geschäftsbericht 2022, AWB Karlsruhe⁵⁴).

Allerdings sollte die energetische Nutzung zukünftig erst am Ende einer möglichst langen und mehrfachen stofflichen Nutzung (Kaskadennutzung) stehen. Das bedeutet auch, dass der Rohstoff der energetischen Nutzung, bzw. der thermischen Verwertung möglichst spät zugeführt wird. Dadurch ergibt sich ein Potenzial für alle Rohstoffe, die momentan dieser Verwertung zugeführt werden. Insbesondere Sperrmüll und Gewerbeabfälle werden in Baden-Württemberg zu einem Großteil thermisch verwertet, und könnten möglicherweise zumindest in Teilen anderweitig (stofflich) genutzt werden.

Das Potenzial der ungenutzten Reststoffe sollte zukünftig ebenso genutzt werden wie die bisher schon gesammelten Abfälle. Dabei ist eine Sortenreinheit im Sinne einer Qualitätssicherung hinsichtlich der zukünftigen Verwertung anzustreben.

49) Paragraph 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes KRWG in der Fassung vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56)

50) Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz – LKreiWiG in der Fassung vom 17. Dezember 2020 (GBl. 2020 | Nr. 46)

51) BMUV (2017) Leitfaden zur Anwendung der Abfallhierarchie nach § 6 KrWG – Hierarchiestufen Recycling und sonstige Verwertung (bmu.v.de)

52) Abfallrecht | Umweltbundesamt

53) Abfall- und Kreislaufwirtschaft | Umweltbundesamt

54) Geschäftsbericht 2022, AWB Karlsruhe

Stoffliche Nutzung

Die stoffliche Nutzung setzt eine sortenreine Sammlung und/oder gute Separierbarkeit in der Verarbeitung voraus. Hier entwickelt sich der Stand der Technik kontinuierlich weiter, so dass zukünftig ökonomisch und ökologisch kompetitive Lösungen bereitstehen können. Es sind bereits verschiedene Technologien zur stofflichen Verwertung aus Rest- und Abfallstoffen entwickelt.

Die lokale Aufbereitung am Ort der Abfallverwertung, z. B. durch Kohleproduktion, ist eine viel diskutierte Option. Pyrolyseanlagen stehen heute von verschiedenen professionellen Anbietern in den benötigten Größen zur Verfügung. Die Anwendbarkeit hängt jedoch an den lokal verfügbaren Transportwegen und Wärmequellen- und Wärmesenken-Angeboten. Die kontinuierliche Nutzbarkeit der Wärmeabgabe einer Pyrolyseanlage ist damit eine notwendige Voraussetzung. Beispielsweise hat der Landkreis Karlsruhe in der Wärmeausbaustrategie eine Machbarkeitsstudie einer Pyrolyseanlage unter der Bedingung einer Wärmekopplung vorgesehen. In diesem Zusammenhang sollten auch Weiterentwicklungen z. B. bei Saisonspeichern in der Region kontinuierlich beobachtet werden. Zukünftig kann sich die Kostenbilanz durch den Preis von CO₂-Zertifikaten drastisch verschieben.

Auch die Nutzung von CO₂ als Kohlenstoffquelle für (bio-)technologische Verfahren zur Produktion von Wertstoffen wird eine weiter zunehmende Rolle spielen. So kann CO₂ als Ausgangsstoff für die Produktion von Kohlenwasserstoffen, auch Treibstoffen, eingesetzt werden. Das Projekt reFuels⁵⁵ ist hierfür ein regionales Beispiel für ein technisches Verfahren zur Produktion von Treibstoffen aus CO₂. Die Verfügbarkeit von klimaneutraler, elektrischer Energie und damit die intelligente Anbindung solcher Produktionsverfahren zum einen an Verfahren oder Netze mit Energieüberschuss und zum anderen an CO₂-Emissionsquellen, werden dabei Kriterien für die Wirtschaftlichkeit von CO₂-Recycling sein⁵⁶.

Thermische Verwertung:

Wie aus **Tabelle 6** hervorgeht, werden in der TRK 26 % des Primärabfallaufkommens thermisch verwertet. Um daraus jedoch ein Potenzial hinsichtlich einer zukünftigen stofflichen Nutzung ableiten zu können, sind weitere Daten über die Zusammensetzung dieser Abfallfraktionen notwendig.

Sowohl aus den Stadtkreisen Baden-Baden und Karlsruhe als auch aus dem Landkreis Karlsruhe werden Abfälle zu der thermischen Behandlungsanlage in Mannheim gebracht. Der Landkreis Rastatt hingegen nutzt die Anlage in Breisgau-Hochschwarzwald. Die Vergabe der Entsorgungsaufträge erfolgt langfristig, denn auch die Betreiber einer Verbrennungsanlage benötigen Planungssicherheit. Prinzipiell ist auch der Betrieb von thermischen Behandlungsanlagen durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger selbst eine Option.

Verwertung in einer Bioraffinerie

Die lokale Aufbereitung von organischen Abfällen, Abwasser und Klärschlamm zu (sekundären) Rohstoffen, Zwischenprodukten und gänzlich neuen Produkten in sogenannten Reststoff-Bioraffinerien wird im Zuge der nachhaltigen bioökonomischen Transformation zunehmen. Die TRK ist diesbezüglich mit Forschung, Entwicklung, Demonstrationsanlagen und politischem Rückhalt gut aufgestellt. Zu Bioraffinerieansätzen zählen beispielsweise Insektenzucht auf biogenen Reststoffen mit anschließender Gewinnung von Proteinen, Fetten, Ölen und Biokunststoffen oder die Gewinnung von Fasern, Feinchemikalien und aufgereinigten Düngerfraktionen aus Biomüll (Projektbeispiel: BW2Pro Biowaste to Products). Beispielhaft sei hier auch das Projekt GreenToGreen, bei dem kommunaler Grünschnitt als Basis für eine grüne Chemie genutzt wird. Bioraffinerien werden derzeit in ersten Pilotanlagen in Europa erprobt. Der Nachweis der Wirtschaftlichkeit ist derzeit noch nicht möglich. Für einen neuen systemischen Ansatz steht auch der bioliq® Prozess mit dezentraler Schnellpyrolyse und zentraler Veredelung. In Bioraffinerien werden die Ausgangsstoffe/ Reststoffe als Rohstoffe in ihre Bestandteile zerlegt und möglichst vollständig genutzt, bzw. zu anderen Wertstoffen umgebaut. So kann eine große Produktvielfalt entstehen: Chemikalien, Werkstoffe und Energieträger.

55) www.refuels.de/index.php

56) Machbarkeitsstudie im Themenfeld Carbon Economy: Modulare Abgas-Raffinerie mit biologischen und hybriden Technologien mit Schwerpunkt auf CO₂-Recycling aus CO₂-Punktquellen

8.3.3 Qualitative Bewertung der Abfallfraktion hinsichtlich Verwertung

Die zukünftige Verwertung der Rest- und Abfallströme stellt sich für verschiedene Fraktionen in unterschiedlicher Weise dar. Im Folgenden werden die Fraktionen (**Tabelle 7**) hinsichtlich einer zukünftigen Nutzungsmöglichkeit qualitativ betrachtet.

Baumassenabfälle

Die Baumassenabfälle setzen sich aus Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub zusammen. Wie in **Tabelle 7** beschrieben, werden in Baden-Württemberg 83 % der Baumassenabfälle auf der Deponie entsorgt. In der TRK werden 22 % der Primärabfälle deponiert, insbesondere im **Landkreis Karlsruhe** landeten 110.000 t des Primärabfalls im Jahr 2021 auf einer Deponie. Hier besteht das theoretische Potenzial einer höherwertigen Verwendung. Zerkleinerte Baustoffe wie Beton oder Ziegel können anstelle von Kies als Füllmaterial in Straßen- und Wegebau Anwendung finden. Auch Metalle oder Gips aus Gipskartonplatten können für die Herstellung neuer Produkte genutzt werden. Dadurch werden nicht nur primäre Ressourcen geschont, sondern auch Umweltrisiken wie die Grundwasserverschmutzung durch Sickerwasser und die Bildung von Emissionen reduziert.⁵⁷ Auch die Reduzierung der Deponierung von Bodenaushub hoher Qualität stellt ein erhebliches Potenzial dar, welches durch regulatorische Anpassungen ausgeschöpft werden kann.

Lignozellulosehaltige Reststoffe / Baustoffe / Altholz liegen in verschiedenen Qualitäten vor. Die stoffliche Verwertung von Lignin ist in der sog. Lignozellulose Bioraffinerie gut untersucht. Es sind, ausgehend von unterschiedlichen Zusammensetzungen, auch verschiedene Nutzungsoptionen möglich, die in unterschiedlichen Technologiereifegraden vorliegen. Hier gibt es langjährige Kompetenz in der TRK beim Fraunhofer ICT sowie beim KIT ITC zur Verwertung dieser Reststoffe zu Basisstoffen für die Chemie- und Kunststoffindustrie.

Abfälle aus der Biotonne und Grünabfälle:

Aus **Abbildung 5** geht hervor, dass die Abfälle aus der Biotonne in der TRK-MO bereits fast vollständig der Vergärung zugeführt werden, sodass hier das Potenzial der Biogasgewinnung mit nachgeschalteter Kompostierung der Gärreste im Sinne der Kaskadennutzung bereits wahrgenommen wird. Ein minimaler Anteil wird außerdem direkt durch die Kompostherstellung stofflich verwertet.

Das **Team Sauberes Karlsruhe** und andere öffentlich-rechtliche Entsorger arbeiten aktiv an der Bildung der Bürger um Fehlwürfe weiter zu reduzieren und die Qualität weiter zu erhöhen.

In Zukunft werden ggf. weitergehende Bioraffinerieansätze zur lokalen Produktion von Zwischen- und Endprodukten zur Verfügung stehen, diese befinden sich derzeit in Entwicklung.

⁵⁷) Alsheyab (2021): Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development

Abbildung 5: Aufkommen und Verwertung von Abfällen aus der Biotonne (links) und Grünabfällen (rechts) in der TRK-MO 2021 (Quelle: Abfallbilanz BW 2021)

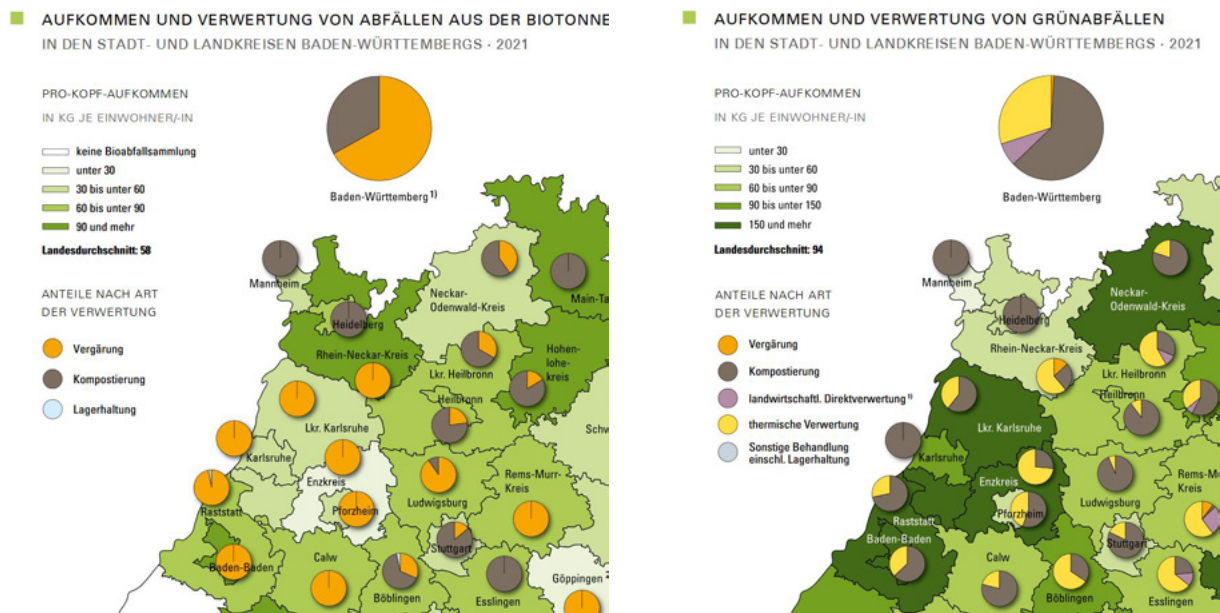


Abbildung 5 zeigt, dass Grünabfälle in der TRK, insbesondere im **Stadtkreis Karlsruhe**, zum Großteil kompostiert werden. Im **Landkreis Karlsruhe**, im **Landkreis Rastatt** und **Stadtkreis Baden-Baden** wird auch ein Teil der Grünabfälle, der holzige, der thermischen Verwertung zugeführt. Hier besteht ein theoretisches Potenzial, den Stoffstrom zumindest teilweise einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Bei den organischen Abfällen aus der Biotonne sowie bei Grünabfällen besteht weiteres Potenzial, das sich erschließen ließe, indem die Abfälle schon bei der Sammlung separiert würden.

Ein Beispiel für eine weitergehende Trennung und damit angepasste Verwertung eines Reststroms, das als ein Ergebnis der Interviews hier beispielhaft dargestellt werden soll, ist die Separierung von Grünschnitt in verschiedene Fraktionen. Bei Grünschnitt wird der krautige Anteil bereits teilweise von holzigem Material getrennt und der holzige Anteil direkt oder indirekt (Pellet-Herstellung) einer Verbrennung zugeführt. Dabei wird holziges Material allerdings noch 100 km weit von Rastatt nach Mutterstadt auf der Straße transportiert. Der krautige Teil (z. B. Laub) wird jedoch lokal kompostiert. Diese Vorgehensweise könnte auf weitere Gebiete ausgedehnt werden, wobei die lokale, dezentrale Nutzung ohne Transport priorisiert werden sollte. So würde weiteres **Wertschöpfungspotenzial** aus biologischen Abfällen genützt werden.

Im **Stadtkreis Baden-Baden** wird der kommunale Bioabfall in der Faulung der Kläranlage mit behandelt. Auch Küchen- und Kantinenabfälle aus dem Hotellerie-, Gaststätten- und Kantinen-Gewerbe werden schon in großem Stil angenommen, wobei diese Zumischung zu erhöhter Geruchsbildung führt und zusätzlichen Arbeitsaufwand in der Kläranlage erfordert, jedoch die Energiebilanz der Kläranlage deutlich verbessert und sogar einen Energieüberschuss erzielt.

Klärschlamm:

Klärschlamm kann in (Hochlast-) Faulungen eingesetzt und mit hoher Ausbeute zu Biogas umgesetzt werden. Er wird bereits in einigen Kläranlagen auf diese Weise einer biologischen und energetischen Verwertung zugeführt. Außerdem kann er als Quelle für Nährstoffe betrachtet werden. Er enthält mit Phosphat und Stickstoff Nährstoffe, die im Pflanzenanbau essenziell sind. Diese Nährstoffe können aus dem Schlammwasser des Klärschlammes extrahiert werden und so im Sinne der Kreislaufwirtschaft höherwertig weiterverwendet werden. In der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) von 2017 ist bereits die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm ab 2029 festgelegt (Abfallbilanz 2021). Die Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammmasche wird derzeit in Pilotanlagen erprobt.

Für das Land Baden-Württemberg hat die Entsorgungssicherheit hohe Priorität. Die Ausbringung von Klärschlamm zur Düngung in der Landwirtschaft unterliegt strengen Auflagen zur Schadstoffanalyse und ist in Baden-Württemberg aus Vorsorgegründen verboten. Nahezu der gesamte Klärschlamm der TRK geht aktuell deshalb bereits in die Verbrennung.

Da die Mitverbrennung in Müllheizkraftwerken und Kohlekraftwerken mit der P-Rückgewinnung als Dünger nicht kompatibel ist, werden voraussichtlich mehrere neue Klärschlammmonoverbrennungsanlagen in Baden-Württemberg gebaut werden, was die Transportwege reduziert. Die Kläranlagenbetreiber schreiben die Entsorgung des Schlammes in regelmäßigen Abständen aus.

Die Stadt Karlsruhe betreibt seit dem Jahr 1981 auf ihrem Hauptklärwerk eine zweistraßige Klärschlammverbrennungsanlage. Eine der Anlagen wird derzeit neu gebaut. Die Stadt nimmt teilweise Klärschlamm aus umliegenden Gemeinden an, um die Anlage technisch auszulasten.

8.4 Infrastrukturen für die Biomassebehandlung

Zentrale Infrastrukturen für die Behandlung der biogenen Restströme wurden für die deutschen Gebiete der TRK erfasst, diese umfassen Biogasanlagen und Bioabfallvergärungsanlagen, große Biomassefeuerungsanlagen sowie Kläranlagen. Die Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (LEL) gibt für TRK-MO insgesamt 13 Biogasanlagen an, davon 8 Anlagen in Stadt- und Landkreis Karlsruhe sowie 5 Anlagen im Stadtkreis Baden-Baden und Landkreis Rastatt. Für das Gebiet TRK-PA werden durch das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel drei Biogasanlagen im Landkreis Germersheim angegeben, eine weitere Anlage wurde durch Recherchen identifiziert⁵⁸. Laut dem BDEW, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. speist eine Biogasanlage aus Ettlingen 330 Nm³/h ins Erdgasnetz ein. Die Stadtwerke Ettlingen GmbH planen den Bau einer Bioabfallvergärungsanlage. In **Abbildung 6** sind die Standorte der Biogasanlagen, Biomassefeuerungsanlagen und Kläranlagen, an denen das größte Aufkommen an Klärschlamm anfällt verzeichnet.

58) DLR Eifel 2023

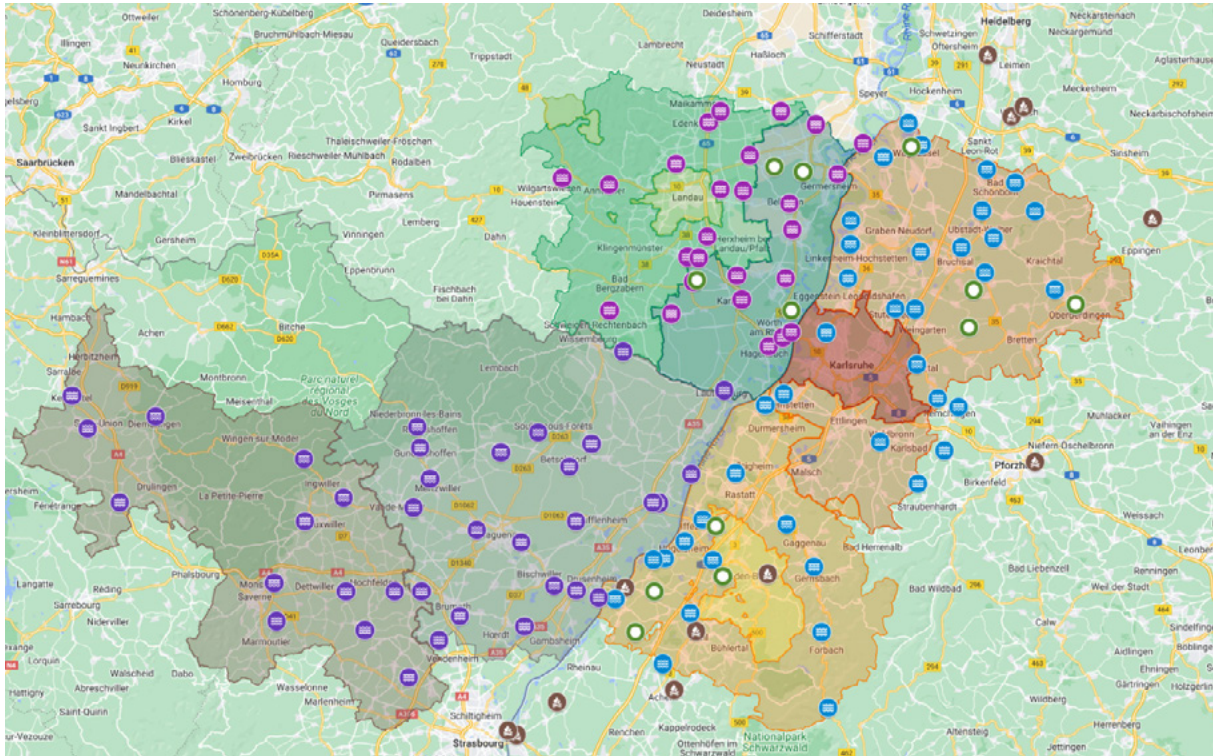


Abbildung 6: Anlagen zur Umsetzung biogener Roh- und Reststoffe in der TRK

Die Karte wurde im Rahmen der Strategieentwicklung durch das Fraunhofer IGB entworfen, um relevante Infrastrukturen zu verzeichnen. Blaue und violette Symbole mit Wasserlinien entsprechen den Standorten der Kläranlagen, braune Feuersymbole stehen für Biomassefeuerungsanlagen, Biogasanlagen sind mit einem grünen Kreis gekennzeichnet. Weitere Informationen wie Post- und Internetadresse, sowie tieferegehende technische Angaben zu den Kläranlagen, wie die Ausbaugröße, behandelte Abwassermenge, Phosphat- und Stickstofffrachten und der derzeitige Ausbaustand der Reinigungsstufen können bei Bedarf bei der TRK GmbH erfragt werden. Die Karte wird durch die TRK GmbH weiterentwickelt.

8.5 Interviews zur qualitativen Bewertung

Um Hinweise zu relevanten Stoffströmen aus nicht öffentlicher Sammlung, insbesondere industriellen Restströmen, zu erhalten, wurden Interviews mit Stakeholdern aus der TRK-MO durchgeführt. So wurden die öffentlichen Entsorger befragt, um die Stoffstromanalyse zu plausibilisieren und mehr über die derzeitigen Entsorgungswege und die Einstellung der Stakeholder zu alternativen Nutzungen zu erfahren. Außerdem wurden auch Unternehmensvertreter aus relevanten Branchen, z. B. aus der Lebensmittelindustrie befragt. Die Stakeholder sollten so auch über die Strategieentwicklung informiert und frühzeitig eingebunden werden.

8.5.1 Durchführung der Interviews

Im Rahmen des Projektes wurden Interviews mit 28 Stakeholdern (12 Kommunale, 10 Unternehmen, 6 Forschungsgruppen) aus der Region durchgeführt mit dem Ziel, neben der Plausibilisierung der Stoffstromanalyse und Informationssammlung zu industriellen Reststoffströmen insbesondere auch Informationen zum Stand der Technik in der Praxis zu erhalten. Wie oben bereits erwähnt, sollten die Stakeholder so auch über die Strategieentwicklung informiert werden, um sie frühzeitig einbinden zu können.

Wesentliche Inhalte der Gespräche waren jeweils die aktuellen Herausforderungen, die sich den Interviewpartnern stellen sowie Möglichkeiten und Lösungsansätze zur Verbesserung der Situation aus Sicht der Interviewpartner im Hinblick auf nachhaltige bioökonomische Entwicklungen.

Für die Durchführung der Interviews wurde eine einheitliche Vorgehensweise anhand eines Fragenkatalogs gewählt. Nach einer Vorstellungsrunde wurden die Stakeholder um eine Selbstbeschreibung der relevanten Aktivität gebeten, die durch Fragen zu folgenden Punkten unterstützt wurde:

- Größe der Organisation
- Jahresproduktion (bei Unternehmen)
- Dokumentation von Nachhaltigkeitsaktivitäten (Inhalte und Intervall), z. B. CO₂-Bilanz, Bericht der Abfallmengen, Nachhaltigkeitsbericht.
- Verwertungs- / Entsorgungswege der anfallenden Reststoffströme, Verbrennungsprozesse
- Aktueller Einsatz von Reststoffen in den Produktionsprozessen (z. B. Abbruchmaterial, Altholz, biobasierter Kunststoff/Verbundwerkstoffe, CO₂ aus der Biogasproduktion, Garten- und Parkabfälle, häusliche Bioabfälle, Klärschlamm, kohlenstoffhaltiges Gas, Küchen- und Kantinenabfälle, Landschaftspflegeabfälle, Lebensmittelabfälle, lignocellulosehaltige Reststoffe aus der Zellstoffindustrie (Schwarzlauge), Melasse, pflanzliche Marktabfälle, Prozessabwässer aus der Industrie, Reststoffe von Fermentationsprozessen, Schlachthofabfälle, Schlacke (Müllverbrennung), Trester aus der Lebensmittelproduktion (Bier/Wein), Sonstiges)
- Verwendung von öffentlichen Datenquellen
- Herausforderungen
- Lösungsansätze

Die Möglichkeit zum Austausch durch das Angebot der Interviews wurde von den Stakeholdern gerne angenommen und stieß auf äußerst positive Resonanz, die sich unter anderem auch dadurch äußerte, dass das Gespräch in vielen Fällen zu einem hochinformativen Austausch und intensiver Diskussion führte.

8.5.2 Wichtige Erkenntnisse aus den Interviews

Durch diese Stakeholderbeteiligung konnten in direktem, persönlichem Austausch äußerst wertvolle Informationen gewonnen werden, die in die Strategieentwicklung und Maßnahmenauswahl durch die TRK GmbH mit einfließen.

Beispielsweise werden Überproduktionen aus der Lebensmittelindustrie kontinuierlich reduziert und die verbleibenden einer Vergärungsanlage zur Biogasgewinnung zugeführt. Auch wird die thermische Verwertung von Stoffströmen durch die öffentlich-rechtlichen Entsorger in regelmäßigen Abständen ausgeschrieben. Klimarelevante Kriterien, wie Emissionsparameter und CO₂-Kriterien werden jedoch meist noch nicht in die Ausschreibungskriterien aufgenommen, um den Anbieterkreis nicht zu weit einzuschränken. In einem Interview wurde jedoch berichtet, dass Emissionsparameter und CO₂-Fußabdruck für Transport und Verwertungsanlage in die Ausschreibungen mit aufgenommen sind und bei der Vergabe mitberücksichtigt werden.

Es zeigte sich an einigen Beispielen, dass lokale Kreisläufe auf Basis von Reststoffen entstanden sind, die kontinuierlich von den verantwortlichen Fachleuten optimiert werden.

Die Stakeholder vor Ort sollten daher bei der Entwicklung neuer, z. B. überregional optimierter Ansätze grundsätzlich mit eingebunden werden.

Folgende mögliche Ansätze zur Verbesserung wurden genannt:

- Neue Technologien nutzen
- „Nachhaltigkeitsparameter“ (z. B. Emissionswerte und Recyclingquote) in Ausschreibungen zur Verwertung von Restströmen
- Veränderungen der gesetzlichen Vorgaben (z. B. analog zu Phosphorrecyclingpflicht, Biomüllsammelungs- und Vergärungspflicht)
- Veränderungen des Marktpreises (z. B. CO₂-Bepreisung, Preise für stoffliche Verwertungsprodukte)
- Steigende Transportpreise und Entsorgungspreise
- Digitalisierung zur Abfallqualität: z. B. Metallscanner, Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Erkennung von Fehlwürfen beim Einkippen in den Müllwagen
- Vernetzung zur Nutzung von Synergien über Kreisgrenzen hinweg

Als Herausforderungen wurden benannt:

- Das wachsende Volumen pro Gewicht von Papiermüll, das durch mehr Kartonagen (durch geändertes Konsumverhalten) entsteht. Die Qualität des Papiermülls (Fremdstoffanteil und Faserlänge) sinkt hiermit ebenfalls.
- Fehlwürfe von Biomüll in die Restmülltonne, Fehlwürfe (Plastik, Metall) in der Biotonne, Fehlwürfe in Wertstofftonnen
- Fehlende politische Klarheit und Verlässlichkeit für langfristige Investitionsplanungen
- Komplexe Genehmigungsprozesse
- Förderlücken in der notwendigen Entwicklung von Forschung bis Markteinführung
- Lange Vertragsbindung / Forderung des Nachweises von Erfahrungswerten bei Ausschreibungen bei Neubauten

8.5.3 Zusammenfassung der Nutzungspotenziale

Potenzial zur stofflichen Nutzung besteht für diejenigen Rohstoffe, die momentan der thermischen Verwertung zugeführt werden. Insbesondere Sperrmüll und Gewerbeabfälle werden in Baden-Württemberg zu einem Großteil thermisch verwertet und könnten möglicherweise zumindest in Teilen anderweitig genutzt werden. Die stoffliche Nutzung setzt jedoch eine sortenreine Sammlung und/oder gute Trennverfahren voraus. Hier entwickelt sich der Stand der Technik kontinuierlich weiter, und er kann in Zukunft, auch durch die Nutzung neuer digitaler Möglichkeiten (auch KI), voraussichtlich ökonomisch und ökologisch kompetitive Lösungen bereitstellen. Auf dem derzeitigen Stand der Technik können Beteiligungs- und Qualitätssicherungsmaßnahmen zur Abfalltrennung und Fraktionierung bereits einen wichtigen Beitrag leisten, ebenso wie Maßnahmen zur Förderung von Ecodesign-Lösungen in Unternehmen.

Die lokale Aufbereitung und Verwertung am Ort der Abfallentstehung und auf Kläranlagen zu (sekundären) Rohstoffen oder Pflanzenkohle⁵⁹, Zwischenprodukten und gänzlich neuen Produkten in sogenannten Reststoff-Bioraffinerien wird im Zuge der nachhaltigen bioökonomischen Transformation zunehmen. Die TRK ist diesbezüglich mit Forschung, Entwicklung, Demonstrationsanlagen und politischem Rückhalt gut aufgestellt. Zu Bioraffinerieansätzen zählen beispielsweise Insektenzucht auf biogenen Reststoffen mit anschließender Gewinnung von Proteinen, Fetten, Ölen und Biokunststoffen oder die Gewinnung von Fasern, Feinchemikalien und aufgereinigten Düngerfraktionen aus Biomüll.

Für einen neuen systemischen Ansatz steht auch der bioliq®-Prozess⁶⁰ mit dezentraler Schnellpyrolyse und zentraler Veredelung. Dabei dient die lokale Aufbereitung dazu, die biogenen Reststoffe, die durch ihren geringen ökonomischen Wert und zur ökologischen Bewahrung nicht weit zu transportieren sind, in eine höherwertige, energiereiche Öl-Feststoff-Mischung umzuwandeln. Dieses sogenannte Biosyncrude ist von der Handhabung und Wirtschaftlichkeit günstiger zu transportieren und kann zentral der Kraftstoffherstellung zugeführt werden.

Die Nutzung von CO₂ als Kohlenstoffquelle für (bio-)technologische Verfahren zur Produktion von Wertstoffen wird eine weiter zunehmende Rolle spielen. So kann CO₂ als Ausgangsstoff für die Produktion von Kohlenwasserstoffen, auch Treibstoffen, eingesetzt werden. Das Projekt reFuels⁶¹ ist hierfür ein regionales Beispiel für ein technisches Verfahren zur Produktion von Treibstoffen aus CO₂. Die Verfügbarkeit von klimaneutraler, elektrischer Energie und damit die intelligente Anbindung solcher Produktionsverfahren zum einen an Verfahren mit Energieüberschuss und zum anderen an CO₂-Emissionsquellen, die nicht vermeidbar sind, werden dabei Kriterien für die Wirtschaftlichkeit von CO₂-Recycling sein⁶².

Im Rahmen der laufenden Transformationsprozesse, Energiewende und Defossilisierung, Effizienz, Suffizienz- und Konsistenzbestrebungen ergeben sich vielfältige Chancen zum Ausbau einer nachhaltigen Bioökonomie in der Region.

59) www.biochar-industry.com

60) www.bioliq.de/55.php

61) www.refuels.de/index.php

62) Machbarkeitsstudie im Themenfeld Carbon Economy: Modulare Abgas-Raffinerie mit biologischen und hybriden Technologien mit Schwerpunkt auf CO₂-Recycling aus CO₂-Punktquellen



Technologie
Region
Karlsruhe

9. Roadmap der Bioökonomiestrategie RE²source

Die nachstehende Aufstellung liefert eine Zusammenfassung und Übersicht über die im Rahmen der Strategieentwicklung ausgewählten Strategieelemente und den ihnen zugeordneten, erarbeiteten Zielen, Handlungsfeldern und Maßnahmen.

9.1 Strategieelemente

Im Strategieprozess wurden insgesamt 6, für die Bioökonomie in der TRK relevante Strategieelemente erarbeitet. Diese setzen sich zusammen aus 3 für den Bioökonomisierungsprozess spezifischen Strategiefeldern: 1) Forschung und Entwicklung, 2) Infrastruktur und 3) Bildung, sowie 3 Feldern, die ein Fundament für das Agieren der TechnologieRegion Karlsruhe bilden und sich aus der Gesamtstrategie der TRK herleiten: 4) Wirtschaftsstandort, 5) Selbstverständnis als Region und 6) Lebensqualität. Die Strategieelemente sind in **Abbildung 7** dargestellt.

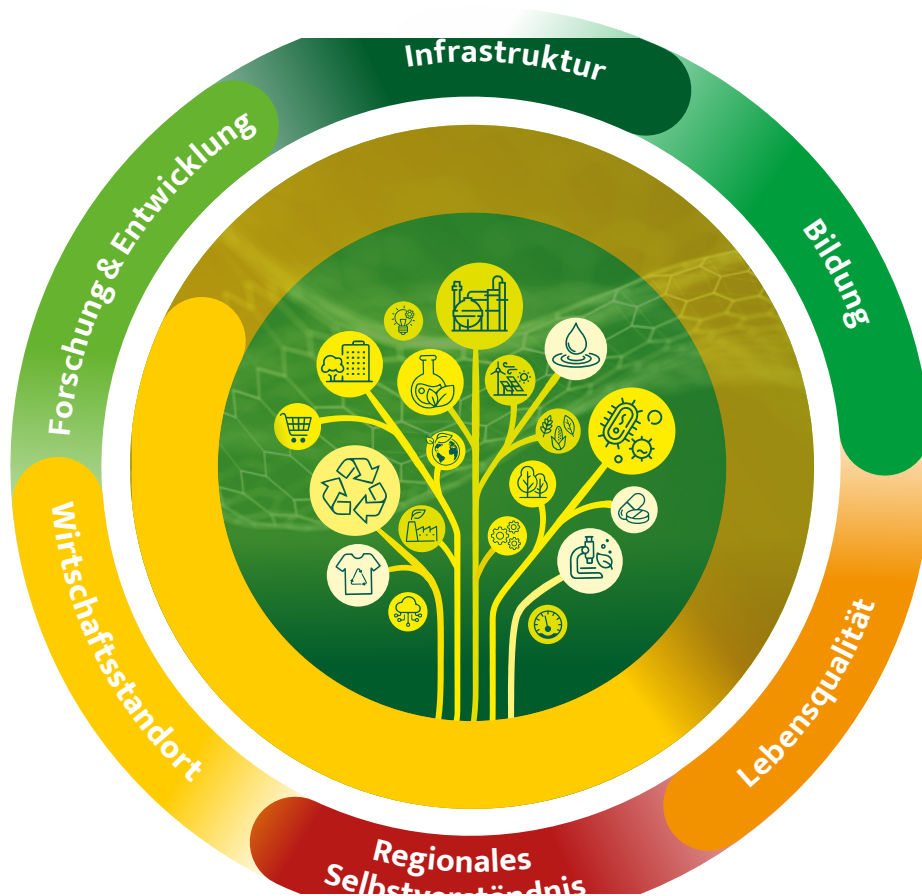


Abbildung 7 Strategieelemente der Bioökonomiestrategie der TechnologieRegion Karlsruhe

9.2 Übersicht: Handlungsfelder, Ziele und Maßnahmen

Die Ziele, Handlungsfelder und Maßnahmen wurden von den beteiligten Akteuren in einem partizipativen Prozess mit zwei gemeinsamen Workshops und im Zusammenhang mit den durchgeführten Interviews eingebracht. Ebenfalls gemeinsam mit den beteiligten Akteuren erfolgt die fortlaufende Abstimmung zur Priorisierung und sukzessiven Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen. Die Roadmap enthält Maßnahmen, die unmittelbar von der TRK GmbH umgesetzt werden und solche, die möglichst von anderen Akteuren aus der Region federführend voranzutreiben sind. Bei den Zweitgenannten hat die TRK GmbH eine unterstützende Rolle inne.

Tabelle 8 erläutert den Aufbau und die Darstellungsweise der Übersicht, auf die Maßnahmenbeschreibung wurde in der Darstellung für eine bessere Übersichtlichkeit verzichtet.

Tabelle 8: Erläuterungen zum Aufbau der Übersichtstabelle

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Übergreifende Handlungsfelder, die sich aus den Zielen und Maßnahmen zur Zielerreichung ergeben	Ziele, die jeweils im Rahmen der Strategieworkshops und Interviews erarbeitet wurden	Maßnahmen, die in den Workshops und bilateralen Austauschen entwickelt wurden

9.3 Maßnahmen

Um die Bioökonomisierung auf der regionalen Ebene frühzeitig systematisch anzugehen, wurden bereits parallel zum Strategieentwicklungsprozess Initialmaßnahmen angestoßen. Maßnahmen die bereits angestoßen oder umgesetzt wurden, sind nachstehend aufgeführt.

- Öffentliche Vorstellung der Bioökonomiestrategie, Ergebnisse und regionaler Beispiele am 22. April 2024 sowie bei weiteren Intermediären und in den TRK-Gremien.
- Workshops mit kommunalen Unternehmen zur Optimierung der Biomasse-Verwertung innerhalb der Region am 18. Juli 2024 und 13. September 2024.
- Informationsveranstaltungen und Anlagenbegehungen zu technischen Ausbaupotenzialen von bestehenden Abwasser- oder Abfallbehandlungsanlagen am 24. April 2024 und 02. Juli 2024.
- Besuche von innovativen und bedeutsamen Bioökonomie-Unternehmen in der TRK im Herbst 2024.
- Veranstaltung mit internationalen Fachkräften zur Bioökonomie im Herbst 2024.

Strategieelement: Forschung und Entwicklung

Als forschungsstarke Region verfolgt die TRK das **Ziel**, auf hohem internationalen Niveau Bioökonomie-Forschung und Entwicklung von der Grundlagenforschung bis zur Demonstrationsreife zu betreiben, die auf Nachhaltigkeit (wirtschaftlich, ökologisch, sozial) ausgerichtet ist. Zugleich will die TRK damit national und international einen hohen Bekanntheitsgrad und eine hohe Sichtbarkeit als Standort für hervorragende Bioökonomie-FuE und als Vorreiter bei der Entwicklung von Bioökonomie-Technologien erreichen.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Stärkung der FuE-Kooperation in der TRK	Förderung der FuE-Kooperationen für mehr Demonstratoren und Pilotprojekte mit TRL 6+	Matchmaking-Events für Kooperationen (Suche-Biete „FuE-Leistung & Rohstoff/Reststoff“-Brainstorming)
		Transparente Darstellung von Akteuren für bilaterale Ansprachen zu FuE
		Anbahnung Bioökonomie-Demonstrator zur Produktentwicklung und Reststromvalorisierung als Leuchtturm
	Unterstützung der Fördermittelakquise	Hinweise und Unterstützung zu Förder- und Finanzierungsoptionen für Bioökonomie-FuE
		Ansprache von Unternehmen und Risikokapitalgebern als Bioökonomie-Investoren
Vernetzung mit Intermediären und Multiplikatoren	Vernetzung mit Clustern, Kompetenzträgern und bioökonomie-relevanten Technologien	Organisation von Cross-Cluster-Veranstaltungen für FuE-Anbahnung in neuen Geschäftsfeldern (IT, Maschinenbau, Leichtbau, Formteilmontage, ...)
		Dialoge mit TRK-Clustern für Kooperation zu Bioökonomie-Wertschöpfungspotenzialen
	Vernetzung mit Industrieverbänden und kommunalen Unternehmen	Erfahrungsaustausch zu Stand der Technik, Integration von Lösungen und FuE-Bedarfen mit Industrie
		Ansprache von BranchenvertreterInnen zur Vorstellung der regionalen Kompetenzen
Sichtbarkeit des Bioökonomie-Ökosystems	Außendarstellung und Vermarktung der FuE- Leistungen international stärken	Ausrichtung von relevanten überregionalen Bioökonomie-Fachveranstaltungen in der TRK
		Darstellung der Bioökonomie-Kompetenzen über Plattformen und Datenbanken
	Darstellung des Bioökonomie-Ökosystems und Vermarktung der Akteure	Teilnahme an nationalen und internationalen Auftritten, Messen, Kongressen und Konferenzen
		Berichterstattung in regionalen und nationalen Medien
Exzellenz in FuE für biobasierte Rohstoffe und CO₂ in Produkten	Europäische und internationale Exzellenz-Integration der FuE fördern	Unterstützung von Projektanträgen und Konsortialteilnahmen aus der TRK auf Bundes- und EU-Ebene
		Vernetzung von regionalen FuE-Akteuren mit Exzellenz-Initiativen der Bioökonomie
		Unterstützung der TRK Bioökonomie-Initiative in Industrie, Wissenschaft und Politik durch Führungspersönlichkeiten

Strategieelement: Infrastruktur

Ziel ist es, die infrastrukturellen Voraussetzungen zu schaffen, damit die TRK eine Vorreiterrolle bei der Bioökonomie als Wirtschafts- und FuE-Standort einnehmen kann. Dies erfordert exzellente Forschungsinfrastrukturen von der Grundlagenforschung bis zur Demonstration, die Bereitstellung der Rohstoffe in hoher Qualität (Biomasse, biogene Reststoffe, CO₂, H₂) und Energie auf effiziente Weise („Region der kurzen Wege“, Digitalisierung) und moderne industrielle Produktionsanlagen zur Umwandlung in Produkte.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
FuE-Infrastruktur	Schaffung von Institutionen für das TRK Bioökonomie-Innovationssystem	Schaffung eines Bioökonomie-Hub als Innovations- und Kompetenzzentrum mit Accelerator-Programm und Technikum/Test-Labor für Erprobung und Skalierung von Entwicklungen in der TRK
	Nutzung von bestehenden Pilot-Infrastrukturen	Förderung des Zugangs zu Multi-Purpose-Demo-Anlagen für TRK-Unternehmen & FuE-Akteure
		Matchmaking für FuE-Kooperationsanbahnung von Pilotanlagen-Betreibern und TRK-Unternehmen
Infrastruktur zur Reststoff-Verwertung	Erhöhung der regionalen Deckung der Biomasse-Verarbeitungs-Kapazitäten	Sensibilisierung der lokalen politischen Gremien für die Berücksichtigung der Regionalität und Umwelt-Auswirkungen bei Ausschreibungen (Nachhaltige Beschaffung und Beauftragung)
		Workshop zur Abstimmung kommunaler Betriebe zu Bedarfen und Kapazitäten zur Verarbeitung von biogenen Reststoffen und Schnittstellen zu CO ₂ -Punktquellen & Bedarfen der Industrie
	Verbesserung der Reststoff-Verwertungsqualität	Steigerung der Stoffstromreinheit bei den Sammlungen durch Qualitätsmanagementsysteme
		Informationsveranstaltung zu Verwertungspotenzialen bestehender und neuer Bioheizkraftwerke (BHKW), Bioabfallverwertungsanlagen (BAVA) & Klärwerke (Innovative Wege zur zukünftigen Bioraffinerie)
		Prüfung interner & interkommunaler Potenziale für den Ausbau der Nutzung von Grünschnitt-Fraktionen (bspw. modulare Lösungen oder gemeinsame BAVA)
		Aufrüstung der kommunalen Ver- und Entsorgeranlagen für effizientere und höherwertige Bioökonomie-Prozesse (Kaskadennutzung) und Reduzierung der CO ₂ -Bilanz (z. B. BHKW für Kläranlagen)
	Benchmarking der kommunalen Entsorgungsprozesse	Erfassung des Ausbaustandards und möglicher Aufrüstungen von Kläranlagen zum Benchmarking
Workshop zur Erfassung des Status Quo und Vereinheitlichungspotenz. der Abfallwirtschaftskonzepte		
Infrastruktur zur Rohstoff-Versorgung	Berücksichtigung von Bioökonomie in der regionalen Infrastrukturplanung	Benennung von Bioökonomie-Belangen bspw. beim H ₂ -Ausbau, mögl. CO ₂ -Pipelines & Speicherpotenzialen von Energie bspw. durch Klärgas/Biogas-Pufferspeicher-Anlagen und im Netz
		Förderung Ausbau zur Anschlussversorgung mit ausreichend erneuerbarer Energie für Bioökonomieprozesse
		Benennung von Bioökonomie-Belangen bezüglich Aufkommen, Logistik und Lagerung (Silos, Tanks, Flächen, etc.) saisonaler Biomasse (Roh- und Reststoff) sowie Anlagen- und Gewerbeflächenbedarfen für bioökonomische Produktionsprozesse in der TRK, bspw. in der Raumordnung
Dateninfrastruktur	Steigerung von Transparenz des bio-basierten Rohstoffaufkommens	Anbahnung eines FuE-Projektes für KI-Assistenz zur Verwertungsplanung von kommunalen Ressourcen
		Systematische Datenbankauswertung von Unternehmen einzelner Branchen und Weiterführung der qualitativen Erhebung von Reststoff-Angeboten großer Umsetzer biogener Stoffströme

Strategieelement: Bildung

Das Konzept der Bioökonomie ist außerhalb von Fachkreisen weitgehend unbekannt. **Ziel** des Strategieelements Bildung ist es daher, für alle gesellschaftlichen Gruppen Bioökonomie-Bildungsmaßnahmen zu schaffen, die dem jeweiligen Bildungsniveau und Informationsbedarf entsprechen. Darüber hinaus benötigt die Bioökonomie für die wissensintensive Entwicklung und Verbreitung von innovativen Produkten und Prozessen spezialisierte Fachkräfte.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Akademische Ausbildung von Bioökonomie-Fachkräften	Förderung der akademischen Aus- und Weiterbildung zur Bioökonomie	Übersicht bioökonomierelevanter Lehrangebote an den Hochschulen
		Schaffung einer hochschulübergreifenden Bioökonomie-Veranstaltung
	Sensibilisierung von Fachrichtungen für bioökonomierelevante Thematiken	Angebot für Betriebsbesichtigungen und Begehungen / Exkursionen & die Zusammenarbeit für Abschlussarbeiten (Service/Übersicht) insbesondere Entsorgungswirtschaft
		Vorstellung von Bioökonomie-Schnittstellen und Anwendungsfällen bei Studiengängen im Bereich IT, Ingenieurwesen, etc.
Förderung der Aufmerksamkeit für Bioökonomie in Schulen		Informationsangebote für Schüler (Betriebsbesichtigungen, Exkursionen, Infostände)
		Kooperation mit den 4 Biotechnologie-Gymnasien in der TRK: Bruchsal, Ettlingen, Karlsruhe, Rastatt
Berufliche Ausbildung von Bioökonomie-Fachkräften	Förderung der beruflichen Aus- und Weiterbildung zur Bioökonomie	Initiative zur Sensibilisierung für Bioökonomieprodukte & Information im Handwerk und Ausbildung (Berufsbildungs-Workshops, Betriebsbesichtigungen, Informationsveranstaltung zu Produkten u.a.)
		Entwicklung von Weiterbildungsangeboten zur Bioökonomie mit Betrieben & Kammern (Prozesse, Produkte, Standards, Produktdesign)
Akquise & Halten von Bioökonomie-Fachkräften in der TRK	Akquise und Bindung von ausreichend Fachkräften in bioökonomierelevanten Berufen und Branchen	Internationale Fachkraftakquise für die Bioökonomie über das Welcome Center TRK durch internationale Bewerbung des Arbeitsmarktpotenzials
		Ansprache internationaler Fachkräfte mit Veranstaltungen zur Bioökonomie mit dem Welcome Center der TRK
		Bindung von internationalen Fachkräften in bioökonomierelevanten Bereichen über Bioökonomie-Partner
Allgemeinbildung	Anschauliche Vermittlung von Bioökonomie-Themen	Informationsveranstaltungen: Was ist Bioökonomie? (bspw. Volkshochschulen, KIT im Rathaus, KIT Science Week, Museen, Wanderausstellung, öffentlicher Infoabend)
		Exkursionen in Betriebe, zu Klär- und Kompostieranlagen, Abfallverwertung
		Verbraucherbildung zu Müllsortierung, Wirkung biobasierter Produkte und Konsumverhalten

Strategieelement: Wirtschaftsstandort

Für die Entwicklung des Wirtschaftsstandortes ist es das **Ziel**, in der TRK eine Bioökonomie-Kreislaufwirtschaft anhand von Beispielen erfolgreich umzusetzen. Hierdurch erzielen die Unternehmen in der Region nachhaltige Wertschöpfung mit innovativen Produkten und Prozessen. Zudem wird die Verfügbarkeit von und die Nachfrage nach Bioökonomieprodukten in der TRK erhöht. Dies erfordert eine enge Abstimmung und Kooperation zwischen Akteuren der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Kommunen.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Standortentwicklung	Enge Abstimmung und Partnerschaft zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Kommunen	Vorstellung der Analysen und Bioökonomiestrategie in den Gremien der Stakeholdergruppen
		Etablierung eines TRK-Beirates zur Entwicklung und strategischen Abstimmung der Bioökonomieaktivitäten
		Gezielte grenzüberschreitende Vernetzung von Akteuren der Bioökonomie und Aktivitäten in der TRK
Standortmarketing	Verbesserung der Zugänglichkeit und Sichtbarkeit zu regionalen Bioökonomiekompetenzen	Mapping und Sichtbarmachung der Akteure und Kompetenzen der Region und Möglichkeit zur Ansprache (u.a. Innogator-Plattform, Newsletter-Beiträge, Bioökonomie-Mailing, Social Media, TRK-ExpertInnen-Netz)
		Präsentationsformate für Bioökonomieakteure schaffen (u.a. Unternehmensbesuche, Messeauftritte)
		Profilbildung und Außendarstellung der TRK-Bioökonomie (Bioökonomie-Foliensatz, Flyer, Info-Webseite)
Förderung nachhaltiger Unternehmen	Förderung der Ansiedlung und Gründung von Bioökonomieunternehmen	Zielgerichtet Gründungsberatung an Bioökonomie-Fachkräfte herantragen (bspw. über ein Gründerzentrum)
		Umfrage zur Erhebung von Bioökonomie-Neugründungen und Herausforderungen
		Sensibilisierungsveranstaltung für das Geschäftsfeld „Digitale Lösungen für die Bioökonomie“
		Durchführen von Pitches und Investoren-Matchmaking-Formaten
	Förderung von guter Praxis und hochwertigen Benchmarks	Workshop zu Bioökonomiepotenzialen in der Verwertungsoptimierung mit gewerblichen Entsorgern
		Informations- und Austauschabende zu rechtliche Vorgaben und Best Practices für die Einbindung der Bioökonomie in Nachhaltigkeitsberichterstattung u. Verwendung von biobasiertem Roh- & Recycling-Material
Förderung der zirkulären Bioökonomie	Sichtbarkeit regionaler Kreislauf-führungspotenziale mit Bioökonomie erhöhen	Hinweise auf bioökonomische Produkte und Bezugsquellen aus der Region
		Bereitstellung von Informationen für biobasierte Beschaffung in Unternehmen & Kommunen
	Optimierung der regionalen Stoffströme im Sinne der Bioökonomie	Analyse der wichtigsten regionalen Stoffströme & Verwertungspotenziale in Wertschöpfungsketten
		Matchmaking von Roh- & Reststoff- Angebot und Nachfrage kommunaler Ver- und Entsorger
		Schaffung einer Übersicht zu Reststoffen & Bezugspunkten in der TRK

Strategieelement: Regionales Selbstverständnis

Ziel ist es, Bioökonomie im Selbstverständnis der Region zu verankern und dieses Selbstverständnis der Region auch aktiv nach außen zu vermitteln.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Wahrnehmung als Bioökonomie-Kompetenzstandort	Unterstützung der Bioökonomie-initiativen in der TRK ausbauen durch Informationen und Botschafter	Berichterstattung fördern durch Vermittlung von Kontakten zu Medien in der Region
		Vorstellung der Bioökonomieregion mit regionalen Botschaftern und Beispielen
		Informationsabende zur Bioökonomie mit lokalen und regionalen PolitikvertreterInnen
		Vermittlung von Auftritten innovativer Bioökonomie-Akteure in regionalen Industrie- und Fachkreisen
Wertschätzung von Reststoffen	Reststoffe werden stärker als Ressourcen mit Wert angesehen	Initiative / Hackathon zur Steigerung von Reststoff-Werten durch Bioökonomielösungen
		Informationsbereitstellung zur Vermeidung von Lebensmittelverschwendung

Strategieelement: Lebensqualität

Ziel ist es, das Potenzial der Bioökonomie zu nutzen und eine nachhaltige urbane Kreislaufwirtschaft zu etablieren, um zur eigenen Lebensqualität und der Lebensqualität künftiger Generationen beizutragen.

Handlungsfelder	Ziele	Maßnahmen
Konsumverhalten	Bioökonomieprodukte sichtbar und mit regionalen Partnern erfahrbar machen	Kampagne zur Sichtbarmachung von Bioökonomiepotenzialen mit Vorbild-Kampagne o. Infopostern zu Life-Cycle-Cost-Daten von biobasierten Produktalternativen, Abfall-Wert-Kampagne
		Bioökonomieprodukte und Maßnahmen platzieren über Events und Sportvereine
		Bewerbung von Restverwertungs- und Zweitnutzungsformaten
Umweltfreundliche Stadtplanung und Nutzung von naturbasierten Lösungen	Berücksichtigung und Sichtbarmachung von Bioökonomielösungen für die Raumplanung	Modellprojekt zum Einsatz von Bioökonomie für die Rückführung von von Abwasser / Grauwasser in blaue und grüne urbane Infrastruktur
		Ausweitung der Grünflächen und Gewässerökosysteme durch Entsiegelungsmaßnahmen
	Umweltmonitoring mit Bioökonomie	Citizen Science Projekt zu Umwelt-Leistungen der Bioökonomie
		Anbahnung Modellprojekt für biotechnische Umweltmonitoring-Verfahren im Abwasser

10. Ausblick

Mit der Erarbeitung der Bioökonomiestrategie für die TechnologieRegion Karlsruhe „RE²source“ wurde eine Grundlage für das weitere Vorgehen im Bioökonomisierungsprozess der regionalen Wirtschaftsweise geschaffen. Die durchgeführten Analysen schaffen die Voraussetzung für die Einschätzung der regionalen Positionierung, bestehenden Kompetenzen und nutzbaren Ressourcen.

Auf Basis der Untersuchungen konnten regionalspezifische Schwerpunkte und Potenziale identifiziert werden, die es im weiteren Vorgehen gemeinsam mit den Akteuren zu erschließen gilt.

Ein großer Mehrwert der Strategieentwicklung ist die Identifizierung und die Aktivierung der relevanten kommunalen, industriellen und wissenschaftlichen Akteure. Der Stellenwert für das Thema Bioökonomie bei den Akteuren konnte durch den intensiven Austausch und Arbeitsprozess erhöht werden. Die Förderung für das Bewusstsein der strategischen Bedeutung und die Synergien von Bioökonomie und weiteren Bereichen in der TRK stellen einen Fortschritt dar. Auf operativer Ebene ist vor allem die Sichtbarmachung und Konkretisierung von Umsetzungspotenzialen für die beteiligten Akteure ein wichtiger Meilenstein für die weitere Bioökonomisierung.

Im Strategiedialog mit über 60 relevanten Akteuren aus Kommunen, Wirtschaft und Wissenschaft wurden sechs Strategieelemente für den Bioökonomisierungsprozess identifiziert. Für jedes Strategieelement wurden konkrete Handlungsfelder, Ziele und ein Maßnahmenpool festgelegt.

Die Strategieumsetzung startet 2024 mit folgenden Maßnahmen, die als Voraussetzungen gesehen werden, um das Thema Bioökonomie in der Region zu festigen und um infrastrukturelle Vorhaben anzustoßen:

- Öffentliche Vorstellung der Bioökonomiestrategie, Ergebnisse und regionaler Beispiele am 22. April 2024 sowie bei weiteren Intermediären und in den TRK-Gremien.
- Workshop mit kommunalen Unternehmen zur Optimierung der Biomasse-Verwertungskontingente innerhalb der Region am 18. Juli 2024 und 13. September 2024.
- Informationsveranstaltung zu technischen Ausbaupotenzialen von bestehenden Abwasser- oder Abfallbehandlungsanlagen am 24. April 2024 und 02. Juli 2024.
- Besuche von innovativen und bedeutsamen Bioökonomie-Unternehmen in der TRK im Herbst 2024.
- Veranstaltung mit internationalen Fachkräften zur Bioökonomie im Herbst 2024.

Die mit den Akteuren entwickelte Handlungsoptionen und damit verbundenen Herausforderungen sind für die erfolgreiche Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen wegweisend. Die gute Resonanz bei den Strategieworkshops und Interviews zeigen ein grundsätzliches Interesse und Bereitschaft für die Bioökonomisierung in der TRK. Insbesondere in den bilateralen Gesprächen hat sich herauskristallisiert, welche Voraussetzungen, Bereitschaft und konkrete Planungen für die Bioökonomisierung auf der kommunalen Ebene in der gesamten Region vorhanden sind und durch welche Stellschrauben diese aktiv unterstützt werden können.

Es kann festgestellt werden, dass sich im Rahmen des Strategieentwicklungsprozesses eine schlagkräftige Bioökonomiecommunity im Bereich der Reststoffverwertung gebildet hat, die das bisherige Netzwerk zur Erzeugung, Verarbeitung und Nutzung von pflanzenbasierten Fasern sehr gut ergänzt.

Literaturverzeichnis

Buller, Jens; Daschner, Robert; Grimm, Lena; Hofer, Michael; Hüsing, Bärbel; Krayer, Julia et al. (2023): Zirkuläre Bioökonomie für Deutschland. Eine Roadmap der Fraunhofer-Gesellschaft zur Umsetzung der Bioökonomie in Deutschland. Fraunhofer-Gesellschaft für Angewandte Forschung e.V. München. Online verfügbar unter www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/FSF/biooekonomie/Zirkulaere-Bio-oekonomie-fuer-Deutschland.pdf.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin.

Deutscher Städtetag (2021): Urbane Landwirtschaft. Positionspapier. Hg. v. Deutscher Städtetag. Berlin, Köln. Online verfügbar unter www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Positionspapiere/2021_positionspapier-urbane-landwirtschaft-2021.pdf.

European Commission; Directorate-General for Research and Innovation; Graaf, I.; Papadimitriou, A.; Peijl, S.; Cuartas-Acosta, A. et al. (2022): Promoting education, training and skills across the bioeconomy – Policy brief. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2018): A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy. Publications Office of the European Union. Luxembourg.

Feldmann, Falko; Bloem, Elke; Dirksmeyer, Walter; Golla, Burkhard; Greef, Jörg Michael; Piorr, Annette et al. (2023a): Definition gebräuchlicher Begriffe der urbanen Landwirtschaft und englischer Entsprechungen. In: *Journal für Kulturpflanzen* 75 (1-2), S. 2–8. DOI: 10.5073/JfK.2023.01-02.02.

Feldmann, Falko; Piorr, Annette; Vogler, Ute (2023b): Die Formen der urbanen Landwirtschaft in Deutschland. In: *Journal für Kulturpflanzen* 75 (1-2), S. 9–36. DOI: 10.5073/JfK.2023.01-02.03.

Grande, S.; Malmer, T.; Andersdotter, C. (2018): Workshop on good practices on increased accessibility of research/innovation infrastructure to industry for testing, demonstration and co-creation: test beds as drivers for EU growth and innovation: 30 November – 1 December 2017, Gothenburg, Sweden. EUR 29177 EN. Publications Office of the European Union. Luxembourg.

Holländer, Robert; Stumpf, Lukas; Lautenschläger, Sabine; Interwies, Eduard; Görnitz, Stefan; Pielow, Christian (2020): Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0). Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte 29/2020). Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-02-05_texte_29-2020_systemverknuepfung-wasserwirtschaft.pdf.

Hüsing, Bärbel; Aichinger, Heike; Moll, Cornelius; Marscheider-Weidemann, Frank; Wietschel, Martin; Schmoch, Ulrich (2021): Technologie- und Marktstudie: Übersicht über Technologien zur bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung sowie der Akteure in Baden-Württemberg. Forschungsbericht BWPLUS. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe.

Krassowski, M.; Das, V.; Sahu, S. K.; Misra, B. B. (2020): State of the Field in Multi-Omics Research: From Computational Needs to Data Mining and Sharing. In: *Frontiers in Genetics* 11. DOI: 10.3389/fgene.2020.610798.

Magrí, A.; Carreras-Sempere, M.; Biel, C.; Colprim, J. (2020): Recovery of phosphorus from waste water profiting from biological nitrogen treatment: Upstream, concomitant or downstream precipitation alternatives. In: *Agronomy* 10 (7). DOI: 10.3390/agronomy10071039.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft; Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2019): Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft und Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Stuttgart.

OECD (2020): The Circular Economy in Cities and Regions. Synthesis Report. OECD Urban Studies. OECD Publishing. Paris.

OECD (2021): The OECD Inventory of Circular Economy indicators. OECD Publishing. Paris.

Philp, James (2020): Digitalisation in the bioeconomy: Convergence for the bio-based industries. In: OECD (Hg.): The digitalisation of science, technology and innovation. Key developments and policies. Paris: OECD Publishing.

Rennings, Michael; Burgsmüller, Anna Pina Farina; Bröring, Stefanie (2023): Convergence towards a digitalized bioeconomy – Exploring cross-industry merger and acquisition activities between the bioeconomy and the digital economy. In: *Bus Strat Dev* 6 (1), S. 53–74. DOI: 10.1002/bsd2.223.

Sobotka, D.; Śniatała, B.; Mąkinia, J. (2023): Technologies for Nutrient Recovery from Municipal Wastewater (*Advances in Science, Technology and Innovation*). Online verfügbar unter www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85152031282&doi=10.1007%2f978-3-031-18165-8_12&partnerID=40&md5=2049a6d434437fbbc0fe36396e308961.

Tezyapar Kara, I.; Kremser, K.; Wagland, S. T.; Coulon, F. (2023): Bioleaching metal-bearing wastes and by-products for resource recovery: a review. In: *Environ Chem Lett* 21 (6), S. 3329–3350. DOI: 10.1007/s10311-023-01611-4.

VCI; VDI (2023): Chemistry4Climate. Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Verband der Chemischen Industrie e.V.; Verein Deutscher Ingenieure e.V. Frankfurt/M., Düsseldorf.

Vogt, Regine; Harju, Noora; Auberger, Andreas; Bulach, Winfried; Merz, Cornelia; Dehoust, Günter et al. (2023): Ermittlung der Klimaschutzpotentiale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU. Teilbericht Deutschland. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_83_2023_klimkreis_teilbericht_deutschland.pdf.

Yang, Nan-Hua Nadja; Yang, Aidong (2022): Urban bioeconomy: Uncovering its components, impacts and the Urban Bio-Symbiosis. In: *Cleaner Production Letters* 3, S. 100015. DOI: 10.1016/j.clpl.2022.100015.

Impressum

Herausgeber

TechnologieRegion Karlsruhe GmbH
Emmy-Noether-Straße 11 | 76131 Karlsruhe
Deutschland
info@trk.de
trk.de/kernkompetenzen/biooekonomie
Stand: Juli 2024

In Zusammenarbeit mit



Grafik und Umsetzung

Michael Lober, werberei Karlsruhe

Druck

wir-machen-druck GmbH, Backnang



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT





**Technologie
Region
Karlsruhe**

TechnologieRegion Karlsruhe GmbH
Emmy-Noether-Straße 11 | 76131 Karlsruhe
Telefon: +49 721 40244-712
info@trk.de | www.trk.de

Folgen Sie uns auf    
oder abonnieren unseren Newsletter unter trk.de

Dr. Petra Jung-Erceg
Koordinatorin Strategieentwicklung
petra.jung-erceg@trk.de
Tel.: +49 721 40244-715

Lenz Sulzer
Projektmanager Bioökonomie
lenz.sulzer@trk.de
Tel.: +49 721 40241-728

www.trk.de/biooekonomie



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

 **Bioökonomie**
Baden-Württemberg

Die Strategieentwicklung wurde gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, im Rahmen der Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie, finanziert aus Mitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat.