

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Bericht

KommBÖ4MRN - Kommunale und Urbane Bioökonomiestrategie für die Metropolregion Rhein-Neckar

Potentialstudie urbane und industrielle Bioökonomie in der MRN

Abschlussbericht

Christiane Chaumette, Hartmut Welck

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Projektnummer: 11-13887-2110-00001
Projektpartner: PROGNOSE AG

Datum: 04.12.2023

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Potentialstudie urbane und industrielle Bioökonomie in der MRN	2
2.1	Analyse der Stoffströme	2
2.1.1	Quantitatives Aufkommen von Abfall-Stoffströmen in Baden-Württemberg.....	2
2.1.2	Quantitatives Aufkommen von Abfall-Stoffströmen in der MRN.....	3
2.1.2.1	Qualitative Bewertung der Stoffströme anhand ihres Potenzials für die weitere stoffliche Verwertung.....	6
2.1.3	Erste Abschätzung des theoretischen, technischen und ökonomischen Potenzials	8
2.2	Stakeholder-Analyse.....	10
2.2.1	Stakeholder-Matrix.....	10
2.2.2	Online-Befragung.....	12
2.3	Potenzialanalyse.....	13
2.3.1	Karte mit standortscharfen Potenzialen und Stakeholdern zu neuen Anlagen und Projektinitiativen	13
2.4	Analyse der Rahmenbedingungen.....	16
2.4.1	PESTEL-Analyse	16
2.4.2	GAP-Analyse	21
2.4.3	SWOT-Analyse	24
3	Wertschöpfungsketten (und -netze)	26
3.1	Wertschöpfungskette 1: Nährstoff-Rückgewinnung	26
3.2	Wertschöpfungskette 2: CO ₂ -Recycling	29
3.3	Wertschöpfungskette 3: Grünschnitt.....	32
3.4	Wertschöpfungskette 4: Restbiomassen	34
3.5	Wertschöpfungskette 5: Holzige Reststoffe	37
4	Anhang	I
4.1	Anhang I: Stoffstromanalyse	I
4.2	Anhang II: Potenzialanalyse	VIII
5	Literaturverzeichnis	

1 Einleitung

Im Rahmen der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg fördert das Umweltministerium Baden-Württemberg entsprechend des Förderaufrufs zur bioökonomischen Transformation urbaner und industrieller Ballungsräume „Kommunale Bioökonomie - Bioökonomiestrategien für urbane Räume“ das Vorhaben „**KommBÖ4MRN - Kommunale und Urbane Bioökonomiestrategie für die Metropolregion Rhein-Neckar**“ der Metropolregion Rhein-Neckar GmbH.

Aktuell widmen sich ca. 60 interessierte Akteure aus Forschung, Industrie und Kommunen im weitesten Sinne dem Thema Bioökonomie und kohlenstoffbasierte Kreislaufwirtschaft in der Metropolregion Rhein-Neckar (MRN). Rund 200 weitere Akteure waren vor Beginn dieser Studie bereits identifiziert.

Im Rahmen der Cluster-Initiative Bioökonomie baut die MRN die Netzwerkarbeit Bioökonomie auf. Im Vordergrund stehen hier der Wissens- und Technologietransfer, die Herausarbeitung von Potenzialen und Schwerpunkten für regionale Wertschöpfungsketten, die Identifizierung von wirtschaftlichen Potenzialen im ländlichen Raum (hier z. B. neue Geschäftsmodelle zur Verwertung von Reststoffen) und in den industriellen Hochzentren (hier z. B. Bioraffinerien und Demo-Anlagen).

Im Rahmen dieser Studie wird eine Datengrundlage für die urbane und industrielle Bioökonomie in der MRN auf Basis vorhandener und öffentlicher Daten, eine Analyse der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen und eine erste qualitative Einschätzung von Nutzungspotenzialen sowie potenziellen Wertschöpfungsketten abgeleitet.

2 Potentialstudie urbane und industrielle Bioökonomie in der MRN

2.1 Analyse der Stoffströme

2.1.1 Quantitatives Aufkommen von Abfall-Stoffströmen in Baden-Württemberg

Als Übersicht ist in Abbildung 1 das kommunale Abfallaufkommen in 1.000 t für Baden-Württemberg in Form eines Sankey-Diagramms abgebildet. Links stehen die Abfallarten wie sie in der Statistik erfasst werden, rechts stehen die Entsorgungsarten. Die Dicke der verbindenden Pfeile repräsentiert dabei linearproportional die Größe des jeweiligen Stoffstroms. Baustoffströme wurden nicht in die Grafik aufgenommen, da diese den bei Weitem größten Massenstrom ausmachen und durch die proportionale Skalierung die Sichtbarkeit der restlichen Stoffströme stark einschränken würden.

Wertstoffe wie Dosen, rezyklierbare Kunststoffe, Altpapier und Kartons stellen mit 1.821.000 t den zweitgrößten Stoffstrom dar. Der Großteil davon, nämlich 1.705.000 t, werden der stofflichen Verwertung zugeführt, ein kleinerer Anteil (116.000 t) landet in der thermischen Verwertung. Hausmüll steht mit 1.340.000 t an dritter Stelle und wird fast vollständig verbrannt (1.232.000 t), nur ein kleiner Anteil (109.000 t) wird der mechanisch-biologischen Behandlung zugeführt. An vierter Stelle steht der Grünabfall-Stoffstrom mit 1.039.000 t, der zum Großteil biologisch verwertet wird (729.000 t). Der Rest (310.000 t) landet in der Verbrennung. Den fünftgrößten Stoffstrom stellen die Abfälle aus der Biotonne (640.000 t) dar, die fast ausschließlich der biologischen Verwertung (638.000 t) zugeführt werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden Stoffströme <50.000 t nicht in die Grafik aufgenommen (Straßenkehricht (30.000 t), Baustellenabfälle (29.000 t), Problemstoffe (10.000 t)).

In der Grafik ist gut erkennbar, dass ein großer Teil der Abfallströme noch thermisch verwertet, also verbrannt wird. Hier gilt es, das volle Potenzial für eine stoffliche Verwertung zu erschließen, anstatt wertvolle Ressourcen auf dieser Wertstufe schon thermisch zu verwerten. Dadurch könnten CO₂-Emissionen und erneuter Rohstoffabbau aus Lagerstätten sowie die damit einhergehenden negativen Effekte auf Ökosysteme und natürliche Ressourcen vermieden werden. Ein Lösungsansatz wäre, diese Abfallströme in Kaskaden mit möglichst wenig Wertverlust je Kaskadenebene zu nutzen, und zwar so lange wie technisch möglich. Wenn zusätzlich die Abfallströme möglichst schadstofffrei gehalten werden würden, könnte Produkten aus rückgewonnenen Wertstoffen ein möglichst breites Vermarktungs- und Anwendungsfeld ermöglicht werden.

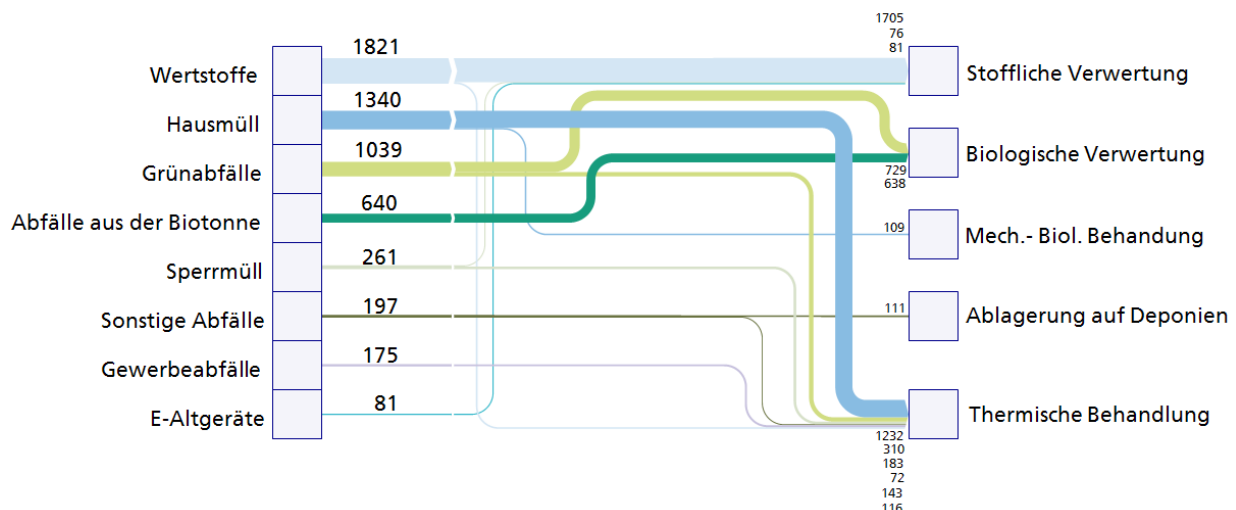


Abbildung 1: Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021 – nach Entsorgungsart (ohne Baustoffströme) [in 1.000 t] (Werte gerundet). Eigene Darstellung auf Basis von: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021)

2.1.2 Quantitatives Aufkommen von Abfall-Stoffströmen in der MRN

Als Anhaltspunkt für biogene Stoffströme werden im Folgenden die Abfallströme der Metropolregion Rhein-Neckar¹ dargestellt (siehe Abbildung 2). Gesammelt wurden die Daten von öffentlichen Entsorgungsunternehmen.

Als Datengrundlage wurden öffentliche Quellen herangezogen. Da sich die Metropolregion über drei Bundeslandgrenzen erstreckt, liegen hier die folgenden drei Quellen zugrunde: das statistische Landesamt Baden-Württemberg (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022), das hessische statistische Landesamt (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2022) und das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz (Ministerium für Klimaschutz 2023). Alle drei Quellen beziehen sich auf das Jahr 2021. Wie aus Abbildung 2 hervor geht, ist der Strom der Baumassenabfälle mit 477.000 t der größte Massenstrom in der Metropolregion, gefolgt von sortierten Wertstoffen mit 380.000 t und Hausmüll mit 335.000 t.

Der Wertstoffstrom setzt sich dabei aus folgenden Fraktionen zusammen: Papier und Pappe (172.000 t), Holz (71.000 t), Glas und Flachglas (68.000 t), Metalle (13.000 t), Kunststoffe, Styropor und Verbundkartons (52.000 t), Textilien (2.000 t) und sonstige Wertstoffe (1.000 t).

Weitere erfasste Stoffströme sind Grünabfall (155.000 t), Biotonne (186.000 t), Sperrmüll (101.000 t), Gewerbeabfälle (52.000 t), Klärschlamm (35.000 t (Trockenmasse (TM))), Elektroaltgeräte (15.000 t), Problemstoffe (2.000 t) und sonstige Abfälle (39.000 t).

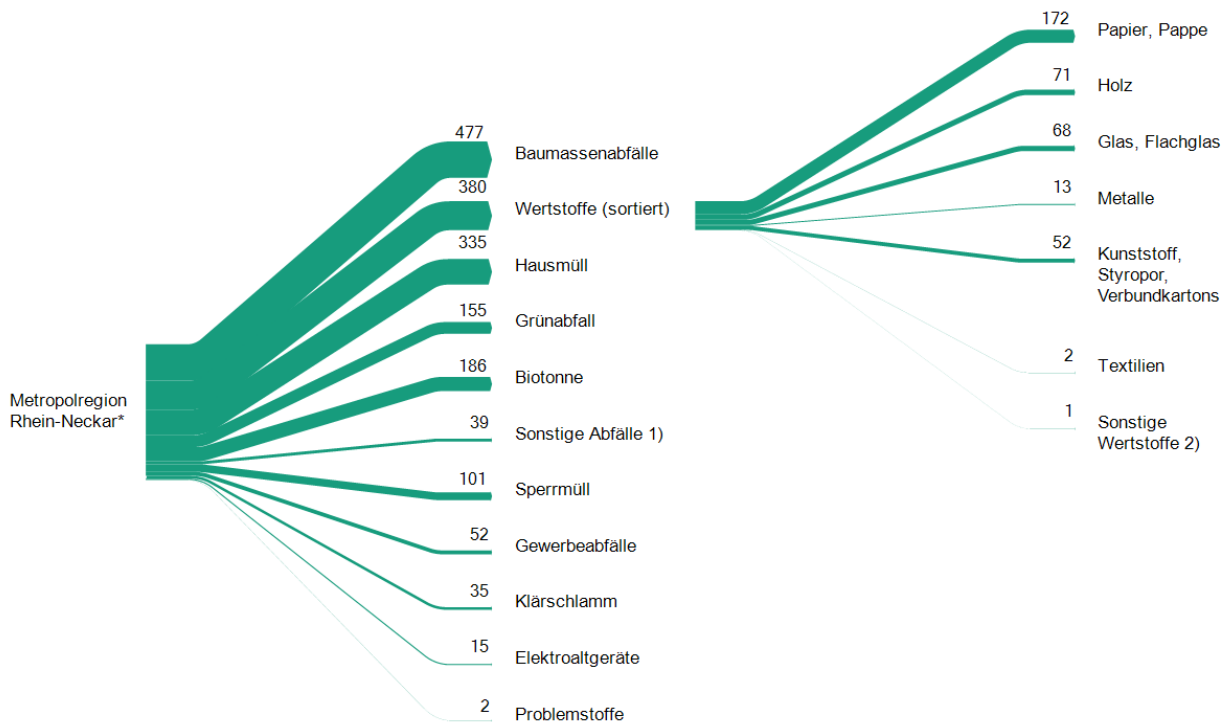


Abbildung 2: Rest- und Abfallströme in der Metropolregion Rhein-Neckar¹ [in 1.000 t].

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

2) Altfett, Kabel, Teppiche, Kork, Altreifen

Bei der Betrachtung dieser Ströme muss berücksichtigt werden, dass die Datenerhebung der Bundesländer nicht gleich ist, wodurch es zu Unschärfe in den Stoffströmen kommt. Insbesondere die Ströme „Sonstige Abfälle“ und „Sonstige Wertstoffe“ werden in den drei Bundesländern unterschiedlich definiert.

Der Strom „Sonstige Abfälle“ setzt sich in den Bundesländern wie folgend zusammen:

In Baden-Württemberg umfasst diese Kategorie Klärschlamm, Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehricht, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub (der gefährliche Stoffe enthält), Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

In Hessen fallen Abfälle von öffentlichen Flächen und Einrichtungen unter diese Kategorie, wie z. B. Marktabfälle, Straßenkehricht, Papierkorbentleerungen, Parkabfälle, Friedhofsabfälle und Abfälle aus der Reinigung von öffentlichen Infrastrukturen wie Abfälle aus der Kanalreinigung und Fäkalschlamm.

In Rheinland-Pfalz umfasst diese Kategorie Abfälle aus Abwasser und Wasserbehandlung, Markt- und Straßenreinigungsabfälle.

¹ Metropolregion Rhein-Neckar: BW: Stadt Heidelberg, Stadt Mannheim, Neckar-Odenwald-Kreis, Rhein-Neckar-Kreis; HE: Kreis Bergstraße; RP: Stadt Ludwigshafen (Rhein), Stadt Worms, Stadt Neustadt (Weinstraße), Stadt Speyer, Stadt Frankenthal (Pfalz), Stadt Landau (Pfalz), Rhein-Pfalz-Kreis, Landkreis Bad Dürkheim, Landkreis Germersheim, Landkreis Südliche Weinstraße

Auch der Strom der „Sonstigen Wertstoffe“ unterscheidet sich zwischen den Bundesländern. Während in Baden-Württemberg Altfett, Kabel und Teppiche aufgenommen werden, fallen in Hessen und Rheinland-Pfalz Kork und Altreifen unter diese Rubrik.

Des Weiteren wurden die Elektroaltgeräte in Rheinland-Pfalz für die Landkreise und Städte nicht gesondert erfasst, weshalb hier eine Hochrechnung aus den Daten aus Baden-Württemberg vorgenommen wurde. Dafür wurde die gesamte Menge an Elektroschrott in Baden-Württemberg 2021 durch die Einwohnerzahl geteilt und der damit berechnete Pro-Kopf-Verbrauch mit den Einwohnerzahlen der jeweiligen Städte und Landkreise in Rheinland-Pfalz multipliziert.

Die detailliertere Datengrundlage des Sankey-Diagramms mit Werten der einzelnen Städte und Landkreise ist im Anhang I zu finden.

2.1.2.1 Qualitative Bewertung der Stoffströme anhand ihres Potenzials für die weitere stoffliche Verwertung

Im folgenden Abschnitt werden die Stoffströme Baumassenabfälle, Bioabfälle, Grünschnitt und Holz auf ihre Verwertung in der MRN untersucht und qualitativ für die weitere stoffliche Verwertung beurteilt. Die genaue Aufschlüsselung nach Bundesländern, sofern verfügbar, ist im Anhang I (Tabelle 17 bis Tabelle 20) dargestellt.

Baumassenabfälle:

Der Stoffstrom der Baumassenabfälle setzt sich aus einzelnen Stoffströmen zusammen. Hierbei werden die Abfallart 17 01 (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik) und 17 05 (Boden, Steine, Baggergut) nach dem Abfallschlüssel der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) definiert und genauer betrachtet, da diese den größten Mengenanteil der Baumassenabfälle in der Metropolregion ausmachen (Bundesamt für Justiz 2001). Wie aus den Abfallbilanzen der Bundesländer hervorgeht, werden in der Metropolregion insgesamt 52,4 % der Kategorie 17 01 verwertet und 47,6 % beseitigt. Beim Bodenaushub, Kategorie 17 05, werden nur 20,7 % verwertet und 79,3 % beseitigt (siehe Tabelle 1).

Bioabfälle / Biotonne:

Im Jahr 2021 wurden von insgesamt 186.000 t Biotonnenabfall in der MRN² rund 82,0 % durch Vergärung verwertet und 18,0 % kompostiert. Die durchschnittliche Abfallmenge der Region lag bei 76,4 kg/EW, wobei 3 Landkreise mit Werten > 109 kg/EW positiv hervorzuheben sind (Kreis Bergstraße (111,5 kg/EW), Stadt Landau (109,6 kg/EW), Landkreis Bad Dürkheim (120,3 kg/EW)) (siehe Anhang I, Tabelle 20).

Grünabfall:

Im Jahr 2021 wurden in der Region MRN³ 75,0 % des gesammelten Grünabfalls durch Kompostierung stofflich verwertet, 2,0 % wurden der Vergärung zugeführt und 23,0 % wurden auf sonstige Art als Brennstoff verwertet. Die durchschnittliche Abfallmenge für Grünabfall in der MRN³ lag 2021 bei 75,5 kg/EW. Der Neckar-Odenwald-Kreis in Baden-Württemberg sowie die Stadt Frankenthal in Rheinland-Pfalz liegen hierbei mit 200 kg/EW deutlich vor den anderen Landkreisen und Städten (siehe Anhang I). Als Ursache für diese hohen Sammelerfolge kann eine Kombination von Erfassungssystemen (Abhol- und Bring-Aktionen, Zusammenarbeit mit dem landwirtschaftlichen Maschinenring, Abgabe bei Entsorgungsanlagen) in Betracht gezogen werden.

Holz:

Von dem Stoffstrom Holz aus Abschnitt 2.1.2 werden hier nur die Holzanteile von sperrigen Abfällen ohne gefährliche Stoffe betrachtet, da diese das größte Potenzial zur stofflichen Verwertung haben. Diese werden entweder gesondert eingesammelt oder an Wertstoffhöfen abgegeben. Aufgeschlüsselte Angaben bezüglich der Verwertung liegen in diesem Fall nur für Rheinland-Pfalz vor. Insgesamt fielen dort im Jahr 2021 29.300 t Holz ohne gefährliche Stoffe an, von denen 37,5 % (11.000 t) recycelt wurden und 62,5 % (18.300 t) dem Müllheizkraftwerk (MHKW) zugeführt wurden (siehe Tabelle 1 und Anhang I). Das theoretische Potenzial für die stoffliche Verwertung kann hier als hoch eingestuft werden. So könnten die 62,5 % an Holz, die momentan der energetischen Verwertung zugeführt werden, anderen Verwertungswegen dienen (Ministerium für Klimaschutz 2023).

² Für den Kreis Bergstraße (Hessen) liegen keine Informationen zu Verwertungswegen von Bioabfall durch das Land vor. Der Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße betreibt seit 2014 eine Biogasanlage, die eine Verarbeitung von ca. 32.000 t Bioabfall jährlich ermöglicht. Diese Kapazität deckt die Menge an Bioabfall im Kreis Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB).

Tabelle 1: Qualitative Bewertung ausgewählter Stoffströme

Stoffstrom		Menge pro Jahr [1.000t]	Verwertung/ Recycling	Beseitigung	Potenzial für stoffliche Verwertung
Baumassenabfälle	17 01 (Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik)	128,47	52,4 %	47,6 %	hoch
	17 05 (Boden, Steine, Baggergut)	365,43	20,7 %	79,3 %	mittel
Biotonne	RP und BaWü	186	100 %	0 %	mittel
Grünabfall	RP und BaWü	155	77,0 %	23,0 %	mittel
Altholz	„ohne gefährliche Stoffe“ (nur RP)	29,3	37,5 %	62,5 % (MHKW)	hoch

2.1.3 Erste Abschätzung des theoretischen, technischen und ökonomischen Potenzials

Bei der Abschätzung des Potenzials der Stoffströme kann zwischen theoretischem, technischem und ökonomischem Potenzial unterschieden werden. Beim theoretischen Potenzial handelt es sich um die in der Theorie physikalisch nutzbare, zur Verfügung stehende Menge des Stoffstroms. Das technische Potenzial beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, welcher mit der bestehenden Technik nutzbar ist. Das ökonomische Potenzial wiederum beschreibt den Anteil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich sinnvoll zu nutzen ist (Kaltschmitt 2016).

Eine aussagekräftige Abschätzung des ökonomischen Potentials der ausgewählten Stoffströme erfordert eine umfangreiche Zahlengrundlage, die für diese Studie nicht zur Verfügung steht. Der nachfolgende Teil einschließlich Tabelle 2 beschränkt sich daher auf eine erste Erläuterung und Einschätzung des theoretischen und technischen Potentials. Des Weiteren liegen nicht für alle Bundesländer gleichermaßen Daten zu den Verwertungsformen von Abfallströmen vor, daher bildet diese Studie nur einen Ausschnitt möglicher Potentiale ab.

Baumassenabfälle:

Derzeit wird der größte Teil der Bauabfälle im Landschafts- und Straßenbau oder als Ausgleichsmaterial verwendet. Es wäre erstrebenswert, die Gesteinskörnung in höherwertigen, zirkulären Produkten zu verwenden, zum Beispiel als Betonzuschlag für den Hochbau (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2021). Durch die Ersatzbaustoffverordnung, die am 01.08.2023 in Kraft trat, wird der Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen bundesweit vereinheitlicht, wodurch mehr Transparenz geschaffen wird, was wiederum den vermehrten Einsatz begünstigt und das Potenzial erhöht.

Der Bodenaushub, von welchem 79.3 % (290.000 t) deponiert wurden, birgt ebenfalls Potenzial für Substratherstellung oder für den Einsatz in Vegetationsflächen in Landwirtschaft oder Gartenbau (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2018).

Biotonne:

Im Gegensatz zu anderen Abfallströmen liegt das Potenzial des Biotonnenabfalls weniger in der stofflichen Verwertung durch Kompostierung ohne Energiegewinnung, sondern vielmehr in der energetischen Verwertung durch Vergärung in Biogasanlagen. 2021 war in Baden-Württemberg die sogenannte Mehrfachnutzung mit 67,0 % das am häufigsten angewendete Verwertungsverfahren für Biotonnenabfälle. Hierbei werden Gärreste aus der Biogasanlage zu hochwertigen Düngemitteln weiterverarbeitet (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2021, S. 8).

Theoretisches Potenzial zur Steigerung der Verwertungsmengen ergeben sich vor allem durch die Menge des eingesammelten Biotonnenabfalls. So könnte eine flächendeckende Einführung der Pflichtbiotonne / Optimierung der Getrenntsammlensysteme die Mengen nochmals steigern.

Theoretisches, technisches und ökonomisches Potenzial ergibt sich damit aus dem Ausbau der kombinierten Vergärung und Kompostierung. Zusätzlich wird ein zunehmender ökologischer Landbau für die Abnahme von Kompost an Bedeutung gewinnen.

Eine weitere Form der stofflichen Verwertung ist die Aufarbeitung zu Zwischenprodukten, welche lager- und transportfähig sind. Dieser Bioraffinerieansatz wird z.B. derzeit in Baden-Württemberg gezielt erforscht und erprobt. Z.B. werden im Rahmen einer Insektenbioraffinerie die Maden der schwarzen Soldatenfliege mit organischen Abfällen gefüttert und anschließend zu Produkten wie Proteinen und Fetten weiterverarbeitet (Fraunhofer IGB 2023).

Grünabfall:

Potenziale ergeben sich zum einen aus dem als Brennstoff genutzten Anteil der Grünabfälle, zum anderen aus einer kombinierten Verwertung von überwiegend nicht holzigen Anteilen in Vergärungsanlagen mit anschließender Gärrestkompostierung. (Abfallwirtschaftsplan Hessen 2021). Die Verwertungsmenge selbst lässt sich durch eine optimierte Sammelstrategie erhöhen, wie es sich bereits im Neckar-Odenwaldkreis (Baden-Württemberg) sowie in der Stadt Frankenthal (Rheinland-Pfalz) zeigt.

Auch die Verwendung des lignocellulosehaltigen Materials als Dämmstoff bietet Potenzial für eine höherwertige Nutzung.

Holz:

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, werden 62,5 % des Holzes ohne gefährliche Stoffe dem Müllheizkraftwerk zugeführt. Hier besteht ein technisches Potenzial, diese 18.300 t Holz nicht nur energetisch, sondern auch stofflich, wie beispielsweise als Spanplatten zu verwerten.

Eine weitere, weniger genutzte Möglichkeit, besteht darin, Holz als lignocellulosehaltiges Material, analog zum Grünabfall, zu Dämmstoff zu verarbeiten.

Tabelle 2: Erste Potenzialabschätzung ausgewählter Stoffströme

Stoffstrom	Menge pro Jahr [1.000 t]	Potenzial für stoffliche Verwertung	Theoretisches Potenzial	Technisches Potenzial	Ökonomisches Potenzial
Baumassenabfälle	477	hoch	hoch	mittel	Ersatzbaustoffverordnung kann Anreiz schaffen
Grünabfall	155	hoch	mittel	hoch	Nachfrage nach Kompost steigt Zusätzliche Verwertungswege/ höherwertige Nutzung
Biotonne	186	niedrig (hoch für energetische Verwertung)	mittel	hoch	Nachfrage nach Kompost steigt Nachfrage für Biogas zunehmend
Holz (nur RP)	29,3	hoch	hoch	hoch	Stoffliche Verwertung könnte höherwertige Produkte und damit höheren Umsatz generieren

2.2 Stakeholder-Analyse

2.2.1 Stakeholder-Matrix

Um einen Überblick über die Akteure, die für ein Bioökonomie-Netzwerk in der Metropolregion bedeutsam sein könnten, zu erhalten, wurde eine Stakeholder-Matrix erstellt (siehe Abbildung 3). Die Grundlage dafür bildet eine von der MRN bereitgestellte Liste mit etwa 260 Akteuren aus verschiedenen Branchen und Bereichen. Die Liste enthält Akteure aus Verbänden, Vereinen und Kammern, aber auch Start-ups und Gründerinitiativen, Betreiber und Anlagenbauer von Bioraffinerie-, Pyrolyse- und Biogasanlagen, Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen aus den Bereichen Landwirtschaft, Lebensmittelhandwerk und -industrie, Chemie- und Pharmaindustrie, Papierproduktion, Bauwirtschaft, Energie-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. Die bereitgestellte Liste wurde um die Ergebnisse eines zusätzlichen Desk Researchs, durchgeführt von der PROGNO AG, sowie um weitere relevante Unternehmen, die an der, im Projekt durchgeführten, Online-Befragung teilgenommen hatten, ergänzt. So konnte die Liste um ca. 15 weitere Stakeholder ergänzt werden. Die finale Stakeholder-Liste wurde um die Akteure bereinigt, die ihren Sitz nicht in der MRN haben.

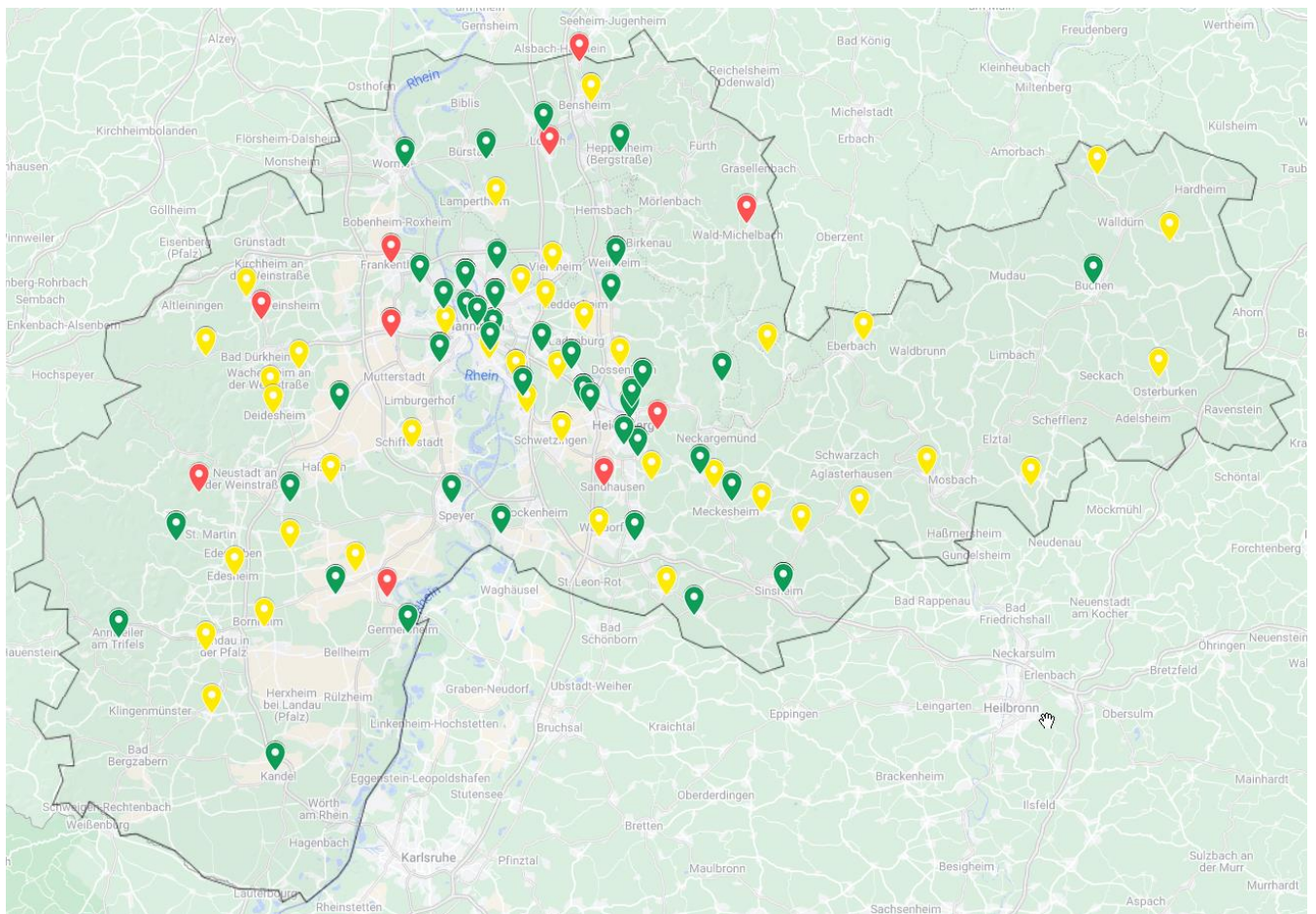


Abbildung 3: Übersichtskarte mit einigen der Akteure innerhalb der Grenzen der MRN. (Reststoffanbieter = gelb, Technologieanbieter = rot, Reststoffnachfrager = grün);

Link zur interaktiven Online-Karte mit allen Akteuren (bald auf der Website verfügbar):

[Metropolatlas Rhein-Neckar \(digitale-mrn.de\)](https://www.metropolatlas.de/)

Die Stakeholder-Matrix ist in drei Abschnitte unterteilt, in denen die Eignung der Organisationen als (potenzielle) Anbieter biogener Rohstoffe (z. B. Klärwerke, Holzverarbeitung, Bauindustrie), (potenzielle) Nachfrager biogener Rohstoffe und (potenzielle) Technologie-Anbieter bzw. Know-How-Träger eingeschätzt wurde.

Die Bewertung, ob ein bestimmtes Unternehmen in eine oder mehrere der drei Kategorien fällt und welche Potenziale genau vorliegen, erfolgte auf Grundlage der Durchsicht der Websites der einzelnen Unternehmen. Insgesamt wurden im Rahmen der Stakeholder-Analyse 122 tatsächliche oder potenzielle Anbieter, 50 tatsächliche oder potenzielle Nachfrager und 72 Know-How-Träger identifiziert. Die Stakeholder konzentrieren sich insbesondere im Raum um Mannheim, Ludwigshafen a. R. und Heidelberg. Im Osten der MRN sind weniger Stakeholder ansässig (siehe Abbildung 2).

Insgesamt wurden 244 Stakeholder in der MRN identifiziert, die entweder als Reststoffanbieter, -nachfrager oder Technologieanbieter für die Verarbeitung und Umwandlung von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen auftreten oder potenziell auftreten könnten (siehe Abbildung 2). Eine Kartenansicht mit den zusätzlichen Akteuren im Umfeld der MRN, die auch Potenziale für die Verwertung von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen bieten, befindet sich im Anhang (siehe Anhang II, Abbildung 13).

Die vollständige Stakeholder-Matrix steht der MRN GmbH zur Verfügung, ist jedoch nicht öffentlich.

2.2.2 Online-Befragung

Um eine detaillierte Einschätzung der Potenziale von urbanen und biogenen Reststoffen für eine primäre stoffliche Verwertung in der MRN zu erhalten, wurde eine Online-Befragung mit LimeSurvey durchgeführt. Neben allgemeinen Fragen zum Unternehmen (z. B. Beschäftigtenzahl und Trägerschaft) wurden auch die bisherigen Aktivitäten im Bereich Bioökonomie abgefragt. Der letzte Teil der Befragung deckte Fragen zu den Potenzialen der Bioökonomie und ihrer Umsetzung in Unternehmen ab.

Die Online-Umfrage lief von Anfang April bis Anfang Mai 2023 und wurde von Seiten der MRN und des ZEW über mehrere Verteiler gestreut. Im dem ca. einmonatigen Befragungszeitraum beantworteten 64 Unternehmen den Fragebogen auf verwertbare Weise, 48 davon vollständig. Auf Grundlage der in der Stakeholder-Matrix identifizierten 244 Unternehmen entspricht dies einer Rücklaufquote von ca. 26,0 %. Aufgrund der Rücklaufquote sind die Ergebnisse der Online-Befragung eher als grobe Orientierungswerte denn als repräsentatives Abbild der Unternehmenslandschaft in der MRN zu betrachten.

Im Folgenden werden nur die Kern-Ergebnisse der Online-Befragung dargestellt:

In der MRN gibt es bereits jetzt viele Unternehmen, die biogene Reststoffe verwenden.

In der Befragung geben über die Hälfte der Unternehmen an, bereits jetzt biogene Reststoffe in ihren Produktionsprozessen einzusetzen, wobei am häufigsten Altholz und diverse Arten von Grünschnitt eingesetzt werden. Unter den antwortenden Unternehmen ist das Nachfragepotential biogener Reststoffe so hoch, dass es das Angebotspotenzial der Anzahl nach übersteigt. Das heißt, dass die Zahl der Unternehmen, die sich als potenzielle Nachfrager sehen die Zahl jener übersteigt, die angeben, biogene Reststoffe anbieten zu können.

In der MRN herrscht ein vorsichtiger Optimismus bezüglich der Potenziale des Einsatzes biogener Reststoffe.

Sowohl für die stoffliche als auch die energetische Nutzung sehen über die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen zumindest geringe Potenziale. Je etwa ein Viertel schätzt sie sogar als hoch oder sehr hoch ein. Von Unternehmen, die bereits jetzt biogene Reststoffe einsetzen, werden die Potenziale sogar noch höher eingeschätzt. Das Marktpotenzial von Produkten auf biogener Basis schätzt etwa ein Drittel der Unternehmen als mindestens hoch ein. Insbesondere gegenüber den technischen Substitutionspotenzialen, also der Fähigkeit biogener Reststoffe, fossile Rohstoffe zu ersetzen, herrscht eher Skepsis. Trotzdem gehen die befragten Unternehmen davon aus, dass die technischen Substitutionspotenziale biogener Roh- und Reststoffe im Zeitverlauf ansteigen werden.

In der MRN besteht Handlungsbedarf, um die Umsetzung der Bioökonomie möglichst weiter optimal zu gestalten.

Als wichtige Voraussetzungen für den Einsatz biogener Reststoffe in ihren Produktionsprozessen sehen die befragten Unternehmen insbesondere eine ausreichend hohe Marktnachfrage nach entsprechenden Produkten und das Vorhandensein günstiger rechtlicher Rahmenbedingungen. Auch die ausreichende Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Biomasse ist eine wichtige Voraussetzung.

Die größten Potenziale zur Schaffung solcher günstigen Rahmenbedingungen sehen die befragten Unternehmen in der Schaffung neuer Wertschöpfungsketten und der Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Da nur eine Minderheit der Unternehmen angibt, über entsprechende technische Kapazitäten zur Verwertung biogener Reststoffe zu verfügen, werden auch Wissens- und Technologietransfer sowie Pilotanlagen als wichtige Hebel wahrgenommen.

2.3 Potenzialanalyse

2.3.1 Karte mit standortscharfen Potenzialen und Stakeholdern zu neuen Anlagen und Projektinitiativen

In der MRN gibt es 122 Anbieter von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen von Landschaftspflegematerial und Agrarabfällen über Prozessabwässer aus der Industrie, Lebensmittelabfälle aus der Lebensmittelproduktion (Trester, Reststoffe aus Fermentation (Melasse, Bagasse), Küchen-, Kantinenabfälle) bis hin zu CO₂ als Rohstoff, Altholz mit lignocellulosehaltigen Reststoffen (inkl. Schwarzlauge) und Klärschlamm (siehe Abbildung 4). Diese Anbieter stellen damit die größte Gruppe der an der Befragung teilnehmenden Unternehmen dar.

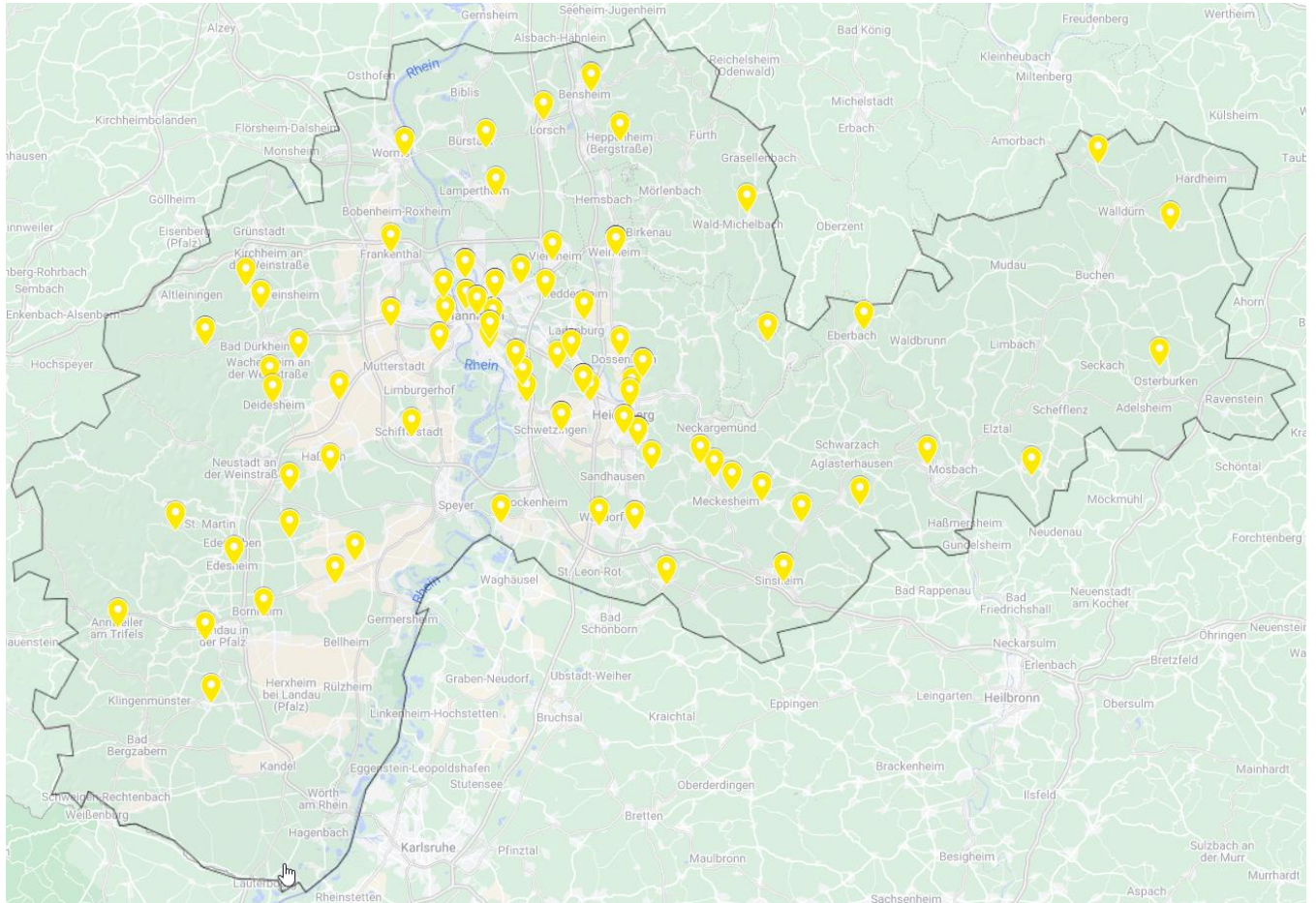


Abbildung 4: Akteure in der MRN, die als Anbieter von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen auftreten oder auftreten könnten (gelb).

In der MRN bieten 72 Akteure Technologien an, um biogene und mineralische Reststoffe verarbeiten und umwandeln zu können (siehe Abbildung 5). Das Spektrum der Technologien umfasst dabei verschiedene Arten von Bioraffinerien, Biogasanlagen, mikrobiell basierten Prozessen, Carbon-Capture-and-Utilization (CCU), formgebenden Verfahren und Sortier-, Trenn- und Extraktionsprozessen.

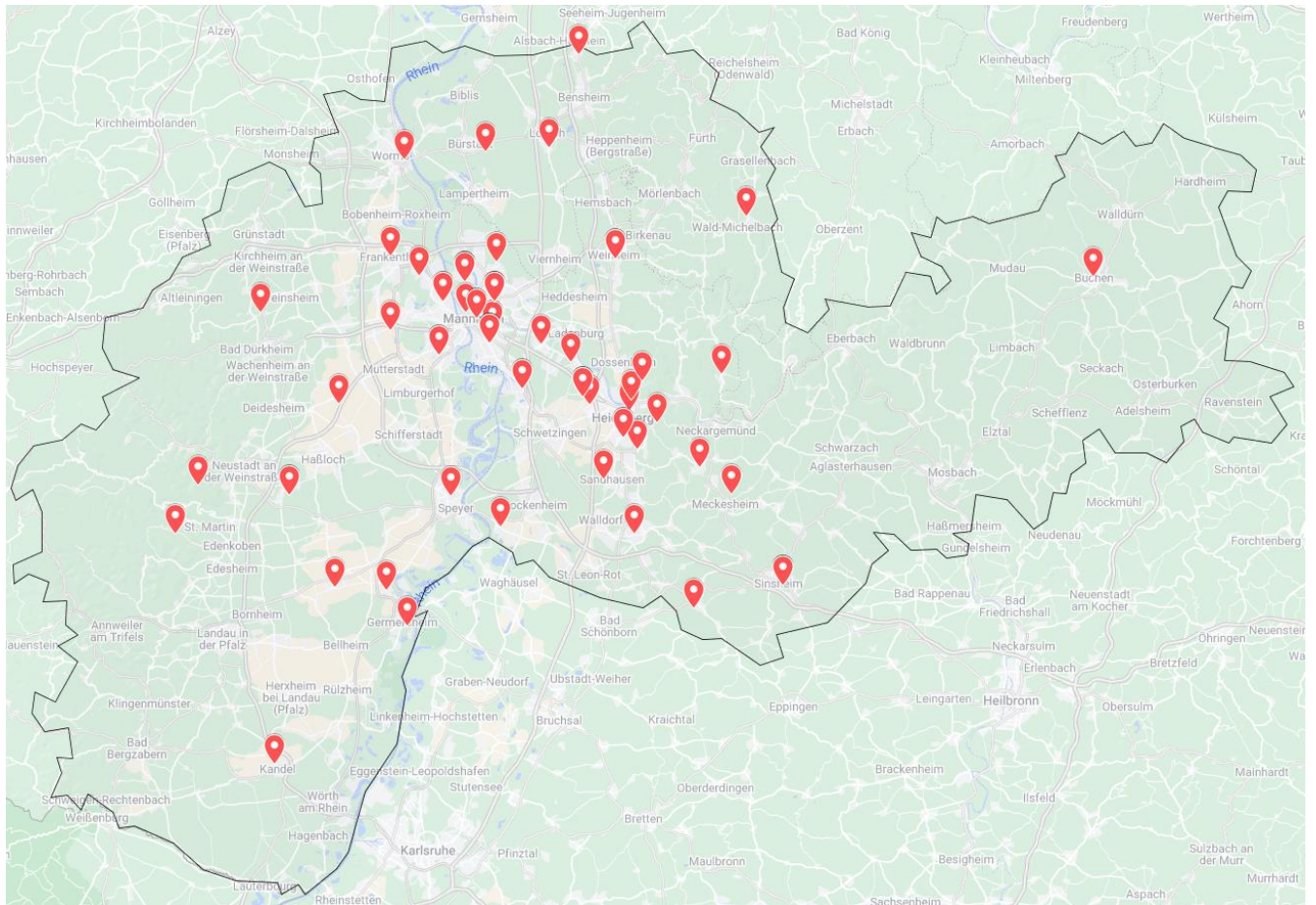


Abbildung 5: Akteure in der MRN, die als Technologieanbieter für die Verarbeitung und Umwandlung von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen auftreten oder auftreten könnten (rot).

2.4 Analyse der Rahmenbedingungen

2.4.1 PESTEL-Analyse

Die PESTEL-Analyse ist ein Instrument zur Analyse des strategischen Umfelds, in dem Organisationen agieren. Sie erfasst die politischen (political), ökonomischen (economical), sozialen (social), technologischen (technological), ökologischen (environmental) und rechtlichen (legal) Faktoren, also alle externen Einflüsse, die auf Organisationen einwirken. Der Schwerpunkt in dieser Studie liegt auf einer Analyse der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen, da es sich dabei um den Hebel handelt, auf den die MRN am ehesten Einfluss nehmen kann. Um einen entsprechenden Überblick über das strategische Umfeld zu schaffen, wurden verschiedene Strategiepapiere und Gesetze auf den **3 politischen Ebenen** (EU, Bund, Land) untersucht. Zum Teil wurde auch auf Sekundärliteratur zurückgegriffen. Die Leitthemen der Analyse waren die Themenbereiche **Wirtschaftlichkeit, Klimaschutz** und **Biodiversität**.

Bioökonomiestrategien auf den 3 politischen Ebenen

Die EU, der Bund und das Land Baden-Württemberg verfügen jeweils über eigene Bioökonomie-Strategien. Die Bundesländer Rheinland-Pfalz und Hessen haben keine eigenen Bioökonomiestrategien beschlossen. Hessen hat ein Positionspapier "Bioökonomie in Hessen" (HMWEVW, 2016) veröffentlicht, in dem das Land ankündigt, Netzwerkarbeit zu leisten und die Rahmenbedingungen für die Gründungs- und Wagnisfinanzierung zu verbessern.

Die Strategie der EU umfasst drei Handlungsfelder und vierzehn Maßnahmen. Ein zentraler Bestandteil der Strategie ist die Förderung verschiedener Arten bioökonomischer Verfahren, besonders aus finanzieller Sicht durch öffentlich-private Partnerschaften, eine Investitionsplattform und Fördermittel. Um die Mitgliedsstaaten zu unterstützen, soll etwa ein Umsetzungskonzept zur Stärkung lokaler Bioökonomien entworfen werden und eine EU-weite Beratungsstelle zum Thema Bioökonomie eingerichtet werden. Die Strategie zielt auch auf die Beachtung der ökologischen Grenzen der Bioökonomie ab, etwa durch die Erweiterung des Wissens über Auswirkungen bioökonomischer Prozesse auf Ökosysteme, ein EU-weites Bioökonomie-Monitoring zur Überwachung von Fortschritten und Fehlentwicklungen und die Entwicklung freiwilliger Leitlinien zu ökologisch verträglicher Bioökonomie (Griestop & Graf, 2019).

Die Bioökonomiestrategie des Bundes richtet sich stark an den 17 nachhaltigen Entwicklungszielen der Vereinten Nationen aus. Sie ist kleinteiliger und umfasst sechs Handlungsfelder, wobei insbesondere Nachhaltigkeitsaspekte eine große Rolle spielen. Die Strategie sieht Maßnahmen zur Minderung des Flächendrucks und zur nachhaltigen Erzeugung und Bereitstellung biogener Rohstoffe vor. Konkrete Maßnahmen zur Förderung der Markttauglichkeit von Produkten auf biogener Basis betreffen den Aufbau von Wertschöpfungsketten (z.B. Förderung des Clusteraufbaus) und die Förderung der Markteinführung (z.B. Bevorzugung bei öffentlicher Beschaffung). Die übrigen Handlungsfelder betreffen den Beitrag, den Bioökonomie zur Entwicklung ländlicher Räume leisten kann, die Nutzung der Digitalisierung für die Bioökonomie und die Koordination von Regelungen auf verschiedenen politischen Ebenen, um politische Kohärenz zu gewährleisten. Auch die Strategie des Bundes sieht ein Bioökonomie-Monitoring vor (BMBF & BMEL, 2020). Zusätzlich existiert auf Bundesebene die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 aus dem Jahr 2010, die sehr stark auf Nachhaltigkeitsfragen eingeht (BMBF, 2010). Im Fokus steht darin beispielsweise die nachhaltige Gestaltung der Agrarproduktion und die Weiterentwicklung von Prozessen bei energetischer Nutzung biogener Stoffe.

Die "Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie" Baden-Württemberg umfasst sechs Handlungsfelder. Das Erste steckt das Ziel der Schaffung eines unterstützenden Rahmens für die nachhaltige Bioökonomie und umfasst z.B. die Schaffung eines Beirates „Nachhaltige Bioökonomie“ und die Einrichtung eines Beratungsangebotes. Das zweite und das dritte Handlungsfeld betreffen je die Schaffung einer nachhaltigen Bioökonomie im ländlichen bzw. im industriellen und urbanen Raum und umfassen Maßnahmen wie die Förderung von Forschung und Entwicklung zur effizienten Erzeugung und Bereitstellung regionaler Biomasse und Potenzialanalysen zur zukünftigen Nachfrage nach derselben bzw. die Förderung von Forschung zu und Entwicklung von Pilot- und Demonstrationsanlagen und die Unterstützung von Technologien zur Gewinnung anorganischer Stoffe. Die Strategie sieht weiterhin eine verstärkte Vernetzung zwischen Räumen, Akteuren

und Clustern, etwa durch die Implementation regionaler Fachinitiativen bzw. Cluster, vor. Die letzten beiden Handlungsfelder sind die verstärkte Qualifizierung und Weiterbildung von Fachkräften in verschiedenen Wirtschaftssektoren und die Verstärkung der Bereitstellung von Informationen und das Anstoßen eines Dialoges zur nachhaltigen Bioökonomie, etwa durch Informationsinitiativen oder die Fortführung partizipativer Dialoge mit Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft (UM BW, 2019).

Manche Punkte wie die Aus- und Fortbildung von Fachkräften im Bereich Bioökonomie, beratende Gremien oder Fortschrittsmonitoring spielen in allen Strategien eine Rolle. Im Allgemeinen betont die baden-württembergische Bioökonomiestrategie die Rolle der Forschung, der Vernetzung und der gesellschaftlichen Beteiligung stärker, während die europäische Strategie eher auf finanzielle Aspekte eingeht. Dem Aspekt der Nachhaltigkeit kommt in den beiden nationalen Strategien die bedeutendste Rolle zu. Insgesamt verhalten sich die drei Strategien und die politischen Aussagen in Rheinland-Pfalz und Hessen komplementär zueinander und ergeben einen stimmigen Rahmen für die Förderung der Bioökonomie in der MRN.

Klimaschutz

Bei energetischer Nutzung, z. B. in einer Biomassefeuerungsanlage, können biogene Roh- und Reststoffe Rohstoffe auf fossiler Basis ersetzen und so einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen und der Begrenzung der Erderwärmung leisten. Deshalb fällt Strategien und Gesetzen aus dem Bereich Klimaschutz bei der Analyse des rechtlichen und politischen Umfeldes eine bedeutende Rolle zu. Auf EU-Ebene ist die wichtigste Regelung in diesem Bereich der "European Green Deal" (Europäischer Rat und Rat der Europäischen Union, 2023a). Er beinhaltet unter anderem das Europäische Klimagesetz, das bis 2030 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 55,0 % gegenüber 1990 vorschreibt. Die Maßnahmen zur Erreichung dieses Zieles sind im Maßnahmenpaket "Fit für 55" (Europäischer Rat und Rat der Europäischen Union, 2023b) festgehalten. Eine der darin beschriebenen Maßnahmen ist etwa die Überarbeitung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie, sodass statt dem bisherigen Ziel von mindestens 32,0 % bis 2030 mindestens 42,5 % bzw. indikativ 45,9 % der Energie in der EU aus erneuerbaren Quellen stammen muss (Europäische Kommission, 2023).

Auf Bundesebene steckt das Bundesklimaschutzgesetz stufenweise Minderungsziele für verschiedene Wirtschaftssektoren mit dem Ziel, dass Deutschland bis 2045 klimaneutral wird (BMU, 2021). Einen entscheidenden Beitrag zu diesem Ziel liefert das Erneuerbare-Energien-Gesetz, mit dem die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU umgesetzt wird. Es definiert dafür das Ziel, dass bis 2030 80,0 % des deutschen Energiebedarfs aus Erneuerbaren Energien gedeckt wird (Die Bundesregierung, 2023).

Auf Landesebene schreiben die Landesklimaschutzgesetze für Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz Klimaneutralität (bzw. im Fall von Rheinland-Pfalz mindestens eine Einsparung von mindestens 90,0 % gegenüber 1990) bis 2040, 2045 bzw. 2050 vor. Entsprechend der Ambition der gesteckten Ziele, unterscheiden sich die Gesetze auch in ihrer Reichweite. Das baden-württembergische Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz (UM BW, 2023) sieht die Überwachung von Fortschritten mittels regelmäßiger Berichte vor, um bei einem projizierten Verfehlen der Klimaziele Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Konkrete Maßnahmen mit Bioökonomiebezug erstrecken sich etwa auf die Förderung von Forschungs- und Innovationsprojekten zur Weiterentwicklung des Biogasanlagenbestandes, eine Holzbauoffensive und ein Förderprogramm zur Förderung von Bioraffinerien zum biologischen CO₂-Recycling. Das im hessischen Klimagesetz (Landesregierung Hessen, 2023) gesteckte Ziel der Klimaneutralität bis 2045 soll durch Maßnahmen erreicht werden, die im Klimaschutzplan des Landes (HMUKLV, 2017) festgehalten sind. Die Maßnahmen mit engem Bioökonomiebezug umfassen beispielsweise die Unterstützung des Brennstoffwechsels in Heizwerken hin zu Erdgas, Biomasse oder biogenen Reststoffen in Heizwerken oder KWK-Anlagen, eine Landesholzbauoffensive, die Entwicklung eines Marktplatzes für Recyclingbaustoffe und Unterstützung einer verstärkten energetischen Nutzung von Bio- und Grünabfall. Die Maßnahmen, die das Bundesland Rheinland-Pfalz (Rheinland-Pfalz, 2014) plant, sind im Klimaschutzkonzept des Landes (MKUEM RLP, 2020) verankert. Die Maßnahmen mit dem engsten Bioökonomiebezug sind die Unterstützung von Biogasanlagenbetreibern, die Stärkung der Kreislaufwirtschaft in Bausektor, die Förderung von Bioabfallvergärungsanlagen und die Unterstützung der Produktion von Biogas aus Klärschlamm. Insgesamt zeichnet sich ab, dass die Maßnahmen analog zu den Ambitionen der jeweiligen Ziele ausfallen.

Die Bedeutung der Klimaschutzvorgaben für die Bioökonomie sollte in den kommenden Jahren allerdings eher sinken. Beispielsweise werden ab dem Jahr 2024 die Ausschreibungsmengen für Biomasseanlagen im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes reduziert werden, um die Biomasse verstärkt in schwerer zu dekarbonisierenden Bereichen, d.h. stofflich, einsetzen zu können. Diese Entwicklung deckt sich auch mit der "Abfallhierarchie", die von der Abfallrahmenrichtlinie der EU etabliert wird. Diese bestimmt, wie in der EU mit Abfällen umgegangen werden soll und räumt stofflicher Nutzung Priorität vor der energetischen Nutzung ein (BMU, 2008). Das Kreislaufwirtschaftsgesetz auf Bundesebene setzt die Abfallhierarchie in nationales Recht um (BMU, 2020).

Wirtschaftlichkeit

Um Unternehmen von Produktionsprozessen auf Basis biogener Rohstoffe zu überzeugen, ist es von besonderer Bedeutung, dass die Implementation langfristig wirtschaftlich ist. Zwei wichtige Instrumente aus diesem Bereich sind der europäische und der dazu komplementäre nationale Emissionshandel, die beide auch enge Bezüge zum Themenfeld Klimaschutz aufweisen. Beide Systeme funktionieren durch den Verkauf von handelbaren Zertifikaten, die zum Ausstoß von Treibhausgasen berechtigen. Da die Menge der ausgegebenen Zertifikate über Zeit sinkt, steigen die Preise für Zertifikate im Zeitverlauf an, was Anreize setzt, weniger Treibhausgase auszustoßen und Prozesse auf Basis biogener Rohstoffe attraktiver macht. Das europäische Emissionshandelssystem gilt für die Energiewirtschaft, energieintensive Industriezweige und den innereuropäischen Luftverkehr (Umweltbundesamt, 2022). Komplementär zum europäischen System deckt der ähnlich funktionierende nationale Emissionshandel weitere Bereiche, insbesondere Verkehr und Heizen, ab (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2017). Damit europäische Unternehmen, zumindest auf dem europäischen Markt, keinen Nachteil durch die höheren Kosten, die in Verbindung mit dem Emissionshandel entstehen, haben, hat die EU im Rahmen des „Fit für 55“ Pakets einen CO₂-Grenzsteuerausgleich eingeführt. Es handelt sich dabei um eine Abgabe für CO₂, das bei der Herstellung von Produkten außerhalb des Geltungsbereiches des europäischen Emissionshandels anfällt (Europäischer Rat und Rat der Europäischen Union, 2023b).

Um die enormen Investitionsbedarfe, die durch den Übergang zu einer nachhaltigeren Wirtschaft entstehen werden, zu decken, plant die EU, für die Umsetzung des European Green Deals im Rahmen des Investitionsplans für ein zukunftsfähiges Europa Investitionen in Höhe von 1 Billion Euro aus öffentlichen und privaten Quellen zu mobilisieren (Europäische Kommission, 2020). Ein Bestandteil des Investitionsplans ist beispielsweise der InvestEU Fond, der mittels EU-Haushaltsgarantie in Höhe von 26,6 Mrd. € Investitionen in einer Höhe von über 372 Mrd. € von öffentlichen und privaten Investoren mobilisieren soll. Die Bioökonomiestrategie der EU hat zusätzlich die Investitionsplattform "Circular Bioeconomy Thematic Investment Platform" ins Leben gerufen, die mit 100 Mio. € etwa bei der Überbrückung der Lücke zwischen Demonstrations- und Kommerzialisierungsphase helfen soll (Griestop & Graf, 2019). Ein weiteres Instrument, das nachhaltige Investitionen fördert, ist die EU-Taxonomie. Es handelt sich dabei um ein Klassifikationssystem, das nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten definiert und so gegen „Greenwashing“ vorgeht und Transparenz schafft für Investoren, die Erwägungen zu Nachhaltigkeit in ihr Portfolio einfließen lassen wollen (Europäische Kommission, 2023b).

Der Bund und Baden-Württemberg verfügen je über ein Ressourceneffizienzprogramm. Das deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRess III sieht einige Maßnahmen vor, die den Einsatz und die Rückgewinnung von biogenen Reststoffen fördern, wie etwa den Abbau von Regelungen, die die stoffliche Nutzung von nachhaltig erzeugter Biomasse verhindern oder die Förderung von Techniken zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus kommunalen und industriellen Abwässern, Klärschlamm, bzw. Klärschlammverbrennungsrückständen (BMU, 2020b). Die baden-württembergische Ressourceneffizienzstrategie sieht im Handlungsfeld "Sekundärrohstoffe nutzen und Kreislaufwirtschaft stärken" die Entwicklung des Konzeptes einer „Demontagefabrik im urbanen Umfeld“ für wirtschaftsstrategische Rohstoffe aus kleinteiligen Stoffströmen vor (UM BW, 2016). Die Markteinführung von Produkten soll laut den Bioökonomiestrategien der EU und des Bundes außerdem durch eine transparente Kennzeichnung von Produkten auf biogener Basis erleichtert werden (Griestop & Graf, 2019; BMBF & BMEL, 2020). Der Bund plant außerdem sowohl in seiner Nachhaltigkeitsstrategie (Die Bundesregierung, 2020) als auch in seiner Bioökonomiestrategie (BMBF & BMEL, 2020), nachhaltigen Produkten Vorzug bei der öffentlichen Beschaffung einzuräumen. Auch Baden-Württemberg hat seine öffentlichen Beschaffungskriterien,

beispielsweise durch einen CO₂-Schattenpreis, an Nachhaltigkeitsaspekten ausgerichtet (BMU, 2021). Als einziges der untersuchten Bundesländer hat Baden-Württemberg außerdem ein Förderprogramm "Kommunale Bioökonomie – Bioökonomiestrategien für urbane Räume" in Höhe von etwa einer Million Euro aufgelegt (UM BW, 2023).

Biodiversität

Damit biogene Roh- und Reststoffe fossile Rohstoffe langfristig ersetzen können, muss ein quantitativ und qualitativ ausreichendes Angebot an Biomasse zur Verfügung stehen. Einer entsprechenden Doppelbelastung, die sich einerseits aus der Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und andererseits aus der Versorgung der Wirtschaft mit Biomasse ergibt, wären die aktuell verfügbaren Mengen an Biomasse nicht gewachsen. Der naheliegenden Lösung, eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Aktivitäten, um die Produktion von Biomasse zu erhöhen, stehen allerdings einige Hindernisse im Weg.

Die EU-Biodiversitätsstrategie legt fest, dass bis 2030 auf mindestens 30% der europäischen Landes- und Meeresfläche Schutzgebiete für die Artenvielfalt geschaffen werden (Europäischer Rat & Rat der Europäischen Union, 2023c). Außerdem soll der Einsatz von Pestiziden in der EU reduziert werden, ein Ziel, das auch im Null-Schadstoff-Aktionsplan der EU festgeschrieben ist (Europäische Kommission, 2021). Auf Bundesebene gibt es die Nachhaltigkeitsstrategie, laut der bis 2030 mindestens 20% der landwirtschaftlich genutzten Fläche ökologisch bewirtschaftet und der Stickstoffüberschuss auf maximal 70 kg/ha verringert werden soll (Die Bundesregierung, 2020). Baden-Württemberg (MLR BW, 2020), Hessen (HSL, 2022) und Rheinland-Pfalz (UM RLP, 2018) stecken jeweils Ziele von 30-40%, 25% bzw. 20% der ökologisch bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche und wollen alle eine Verringerung der Belastung durch Nitrat oder chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel erreichen.

Fazit

Lenkungs Kompetenzen liegen sowohl im rechtlichen wie auch im politischen Sinne in erster Linie auf EU- und Bundesebene, wohingegen die Bundesländer eher über einen eingeschränkten Handlungsspielraum verfügen (Mayer & Priefer 2018). Die Bundesländer gehen die Herausforderung jedoch durch vielfache lokale Initiativen an.

Momentan liegt der Schwerpunkt beim Einsatz von Biomasse noch sehr stark auf der Nutzung in energetischer statt in stofflicher Form. 2020 überstieg beispielsweise die Menge der Biomasse, die der energetischen Nutzung zugeführt wurde, jene die der stofflichen Nutzung zugeführt wurde, um mehr als das 16-fache (Umweltbundesamt 2020). Dieser Zustand ist in wesentlichen Teilen aus dem Rechtsrahmen erwachsen, der insbesondere aufgrund der Regeln zum Klimaschutz wie der CO₂-Bepreisung oder dem Erneuerbare-Energien-Gesetz, eher die energetische anstelle der stofflichen Verwertung biogener Roh- und Reststoffe stärkt (Meyer & Priefer 2018). Es werden allerdings bereits konkrete Maßnahmen geplant, um die energetische Nutzung zukünftig zugunsten der stofflichen Nutzung zurückzuführen (z. B. sinkende Ausschreibungsmengen für Biomasseanlagen im EEG ab 2024). Auch die Bioökonomiestrategie des Bundes sowie des Landes Baden-Württemberg legen Maßnahmen dar, die die Kreislaufführung von biogenen Rohstoffen und damit auch deren stoffliche Nutzung fördern. Zusätzlich zahlen die Abfallrahmenrichtlinie sowie das Kreislaufwirtschaftsgesetz auf Bundesebene auf die stoffliche Verwertung von biogenen Roh- und Reststoffen ein.

Um trotz der Hürden, die zum Schutz der Biodiversität für die Ausweitung des Biomassevolumens bestehen, eine ausreichend hohe Menge an Biomasse zur Verfügung zu stellen, werden alternative Quellen für biogene Stoffe erschlossen werden müssen. Hierzu zählen insbesondere Effizienzgewinne in der Flächennutzung (z.B. Reduktion des Flächenbedarfs durch Tierhaltung), eine Stärkung der Kaskadennutzung (mehrfache stufenartige Wiederverwendung von Rohstoffen) (Wydra et al., 2020), die Wiederverwertung von biogenen Rohstoffen (Nutzung biogener Reststoffströme) (Ekardt et al., 2021), und eine Priorisierung der Wirtschaftsfelder, in denen biogene Rohstoffe eingesetzt werden (stoffliche Nutzung vor energetischer Nutzung) (Umweltbundesamt, 2020).

Durch die Verbindung von drei Bundesländern ist die MRN Region in besonderer Weise geeignet als Motor der nachhaltigen Bioökonomie zu fungieren.

2.4.2 GAP-Analyse

Folgende Tabelle 3 zeigt eine GAP-Analyse aus den Erkenntnissen der Potential- und Stakeholder-Analyse. Auf Grundlage der konkreten Erkenntnisse aus den vorangegangenen Schritten werden Lücken (GAPs) identifiziert und entsprechende erste Handlungsfelder zur Schließung dieser Lücken definiert.

Tabelle 3: GAP-Analyse mit ersten Handlungsempfehlungen

Erkenntnis	GAP	Erste Handlungsempfehlung
GAPs aus der Online-Befragung		
Die Umfrage hatte mit 24,0 % einen überschaubaren Rücklauf.	Es konnten nicht alle Stakeholder erreicht werden.	Effektivere Streuung von Informationen, um weitere Akteure zu aktivieren.
Auf viele Fragen wurde mit „Weiß nicht“ geantwortet.	Es besteht Informationsbedarf bei Stakeholdern zum Themenkomplex Bioökonomie.	Informationen streuen, um Wissenslücken bei aktivierten Akteuren zu schließen.
Akteure gaben nur zu sehr kleinen Teilen an, über Verwertungstechnologien für biogene Roh- /Reststoffe zu verfügen.	Technische Kapazitäten zur Verwertung von biogenen Roh- /Reststoffen sind ausbaufähig.	Ausweitung des Wissenstransfers und Aufbau von Pilotanlagen (bspw. einer Bioraffinerie Pilotanlage in der Region für Stoffströme mit hohem Potenzial). Aufbau von Wertschöpfungsketten zu bestimmten Stoffströmen (Ökosystem).
Viele Unternehmen gaben an, dass das Wissen um die Verfügbarkeit und Qualität von biogenen Reststoffen eine wichtige Rolle spielt.	Es besteht mangelnde Transparenz über Qualität und Verfügbarkeit von Reststoffen.	Transparenz schaffen über nicht genutzte Stoffströme (z. B. Online-Marktplätze wie Marktnavigator BW) und Aufbau von regionalen Sammelstellen (Hubs), um eine breitere Bandbreite an Reststoffen verfügbar zu machen.
KMU bewerteten die Voraussetzungen und Hebel für die Umsetzung einer Bioökonomie als weniger wichtig.	Vor allem in KMU, die Probleme haben, Kapazitäten für die Umsetzung der Transformation freizumachen, ist die Bereitschaft zur Transformation geringer.	Niedrigschwellige Maßnahmen zur Kapazitätsstärkung (bspw. trans- und interdisziplinäre Vernetzung) mit Schwerpunkt auf KMU entwerfen.
Ökonomische und insbesondere technische Substitutionspotenziale wurden von Unternehmen als relativ gering bewertet.	Ökonomische und insbesondere technische Substitutionspotenziale werden als gering wahrgenommen.	Informationsstreuung bezüglich der Potenziale der Bioökonomie (insbesondere zu technischen Potenzialen bspw. über Drop-in Lösungen). (Bekannt) Unternehmen als Leuchttürme nutzen, Best Practices

	Mangelnde Sichtbarkeit von Good Practices (bspw. von Vorzeigeunternehmen).	zeigen und ihre Aktivitäten im Bereich Bioökonomie sichtbar machen.
Viele Unternehmen (KMU) gaben an, ihren CO ₂ Fußabdruck nicht zu kennen.	Es bestehen Wissenslücken über die verschiedenen CO ₂ -Emissionen (Scope 1-3) entlang des Lebenszykluses der Produkte.	Weiterbildung/Qualifizierung im Bereich Lebenszyklusanalysen insb. für KMU.
Obwohl in der MRN viele produzierende Unternehmen angesiedelt sind, gibt es beschränkte CCU-Kapazitäten.	CO ₂ könnte von mehr Akteuren als aktuell genutzt werden. Die Mengen des verfügbaren CO ₂ sind nicht standortspezifisch bekannt.	Technologien zur stofflichen Verwendung von CO ₂ fördern und Transparenz hinsichtlich der standortspezifischen Mengen an CO ₂ anregen.
GAPs aus der PESTEL		
Bioökonomische, politische und rechtliche Rahmenbedingungen stark von EU und Bund geprägt.	Lenkungscompetenz der Länder sind eingeschränkt.	Pro-aktive Nutzung des rechtlichen Gestaltungsspielraums mit dem Rückenwind von EU und Bund.
Urban Mining (mineralische Reststoffe) spielt in den untersuchten Dokumenten nur in den Ressourceneffizienzprogrammen eine Rolle sowie durch die Förderung einer kommunalen Bioökonomie durch das Umweltministerium Baden-Württemberg.	Urban Mining (mineralische Reststoffe) und Bioökonomie werden vom Gesetzgeber als separate Felder betrachtet, Schnittmengen bleiben unerkannt.	Stärkere Betonung der Verbindung zwischen Bioökonomie und Urban Mining (mineralische Reststoffe) bspw. durch eine stärkere Nutzung von CO ₂ über CCU-Verfahren; erste Technologiepotentiale sind in der Region vorhanden.
Momentan wird eine große Mehrheit der nicht als Nahrungs-/Futtermittel genutzten Biomasse einer energetischen und nicht stofflichen Nutzung zugeführt.	Ein Großteil der Biomasse wird z.B. in Form von Biogas, Bioethanol im vergleichsweise einfach zu dekarbonisierenden Energiesektor eingesetzt, und steht somit nicht mehr für die stoffliche Nutzung zur Verfügung.	Transition zu stärkerer stofflicher Nutzung umsetzen, bspw. durch entsprechende Regularien.
Anpassung des rechtlichen Begriffs Abfall zur stofflichen Weiterverwertung.	Weiter existierende regulatorische Hemmnisse zur stofflichen Verwertung von Abfall als Reststoff.	Anpassung der Regularien und Gesetze zur stärkeren Förderung der stofflichen Verwertung von Abfall.
Unterschiedlich ausgeprägte Rahmenbedingungen für die Thematik Bioökonomie in den Ländern, in denen die MRN liegt.	Unternehmen in der MRN stehen unterschiedlichen Rahmenbedingungen gegenüber, was ein	Einwirken der MRN auf Landesregierungen in BW, HE und RLP, um die Schaffung von Strategien und günstigen rechtlichen Rahmenbedingungen voranzutreiben.

	koordiniertes Vorgehen erschwert.	
GAPs aus Wertschöpfungsketten		
Intransparenz zu CO ₂ -Stoffströmen.	Obwohl CO ₂ -Emissionen auf unterschiedlichen Ebenen erfasst werden, stehen die Ergebnisse nicht als Datengrundlage für die Abschätzung des Potenzials ihrer Verwendung (v.a. auf Unternehmensebene) zur Verfügung.	Transparente Offenlegung der erfassten CO ₂ -Emissionen von Unternehmen, um das Potential für deren Verwendung abschätzen zu können.
Unterschiedliche Erfassung der Stoffströme in Landesstatistiken.	Erschwerte Erfassung und Vergleichbarkeit von Daten.	Harmonisierung der Stoffstromreports, im Speziellen für öffentliche Versorgungsunternehmen, zwischen den Bundesländern.
Überwiegend fossile Rohstoffe noch dominant in den Wertschöpfungsketten/-netzen.	Biogene Reststoffe spielen insgesamt eine eher untergeordnete Rolle.	Regulatorik anpassen, Wertschöpfungsnetzwerke aufbauen.
Überwiegend noch energetische Nutzung von biogenen Reststoffen.	Stoffliche Nutzung ist unterrepräsentiert.	Stärkung der stofflichen Nutzung über Regulatorik und Netzwerke.
Potentiale für (neue) Wertschöpfungsnetzwerke vorhanden.	Informationen zu Potentialen und Möglichkeiten in der Zusammenarbeit noch nicht ausreichend bewusst.	Unternehmen entlang der Wertschöpfungsnetzwerke vernetzen.

2.4.3 SWOT-Analyse

Auf Grundlage der PESTEL- und GAP-Analysen wurde eine SWOT-Analyse für die Metropolregion Rhein-Neckar erstellt, die ihre Stärken und Schwächen in Bezug auf die Bioökonomie sowie die Chancen und Risiken, die sich daraus ableiten bzw. in den nächsten Jahren ergeben können, übersichtlich zusammenfasst (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen
Ein Rechtsrahmen für die Bioökonomie ist vorhanden und für bioökonomische Aktivitäten im Großen und Ganzen günstig.	Durch ihre grenzüberschreitende Lage muss die MRN innerhalb unterschiedlich ausgeprägter politischer und administrativer Rahmenbedingungen agieren, z.B. unterschiedliche Erfassung von Stoffströmen.
Die Bioökonomiestrategien von EU, Bund und Baden-Württemberg verhalten sich komplementär zueinander.	Erfassung von Stoffströmen basierend auf der amtlichen Statistik. Viele Stoffströme werden nicht erfasst (insb. industrielle Stoffströme).
Insbesondere in Baden-Württemberg finden Unternehmen dank der Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ günstige Rahmenbedingungen.	Rheinland-Pfalz und Hessen verfügen bisher (noch) nicht über eigene Bioökonomiestrategien.
Die MRN verfügt bereits über eine gute Basis an Akteuren (Nachfrage/Angebot von Biomasse und Technologieanbieter).	Geringe Verwertungskapazitäten für biogene Reststoffe in den meisten Unternehmen.
Es besteht eine relativ hohe Nachfrage an biogenen Roh-/Reststoffen in der MRN.	Potentiale von biogenen Wertschöpfungsketten werden noch nicht umfänglich genutzt.
Biogene Roh-/Reststoffe, die erfasst und angeboten werden, werden auch nachgefragt (insb. Altholz, Grün- und Bioabfälle).	Akteure sind noch nicht ausreichend identifiziert und mobilisiert und über die Potentiale der Bioökonomie informiert.
Unternehmen in der MRN, die bereits biogene Reststoffe einsetzen, sehen in der stofflichen Verwertung ein hohes Potential.	Technisches und ökonomisches Subventionspotential mit Luft nach oben.
Der Bioökonomie werden große Potentiale im Erreichen der Klimaziele zugesprochen (Beitrag zur Reduktion des CO ₂ äq-Fußabdrucks)	Die Nachfrage nach biogenen Roh-/Reststoffen kann derzeit in der MRN nicht gedeckt werden (mangelnde Verfügbarkeit, Transparenz).

Chancen	Risiken
Eine nachhaltige Bioökonomie zahlt bspw. durch eine effizientere Flächennutzung, konsequente Kaskadennutzung und eine Kreislaufwirtschaft auf die Biodiversität und die Stärkung des Umweltschutzes ein.	Maßnahmen, die zu einer nachhaltigen Gestaltung der Bioökonomie beitragen (bspw. effizientere Flächennutzung, Kaskadennutzung, und Kreislaufwirtschaft) werden nicht ausreichend umgesetzt, was negative Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsziele hat.
Stoffliche Nutzung biogener Restströme unter Einschluss des Urban Minings (mineralische Restströme) hebt weitere Potenziale.	Potentiale des Urban Minings (Nutzung mineralischer Reststoffe) bleiben mittel- bis langfristig ungenutzt.
Verbesserte Rahmenbedingungen, um die Wettbewerbsfähigkeit der stofflichen Nutzung biogener Roh-/Reststoffe zu erhöhen, z.B. transparentere Produktzertifizierungen, CO ₂ -Preise oder Vorzug in der öffentlichen Beschaffung.	Ein Rechtsrahmen, der weiterhin schwerpunktmäßig die energetische Nutzung biogener Roh-/Reststoffe favorisiert, führt zum Verpassen der Transition hin zu stärkerer stofflicher Nutzung.
Konsequente Nutzung von Green Investments, z.B. aus Circular Bioeconomy Thematic Investment Platform, etwa um die Lücke zwischen Demonstrations- und Kommerzialisierungsphase zu überbrücken.	Transition ist gehemmt durch negativen Cashflow bei Unternehmen in der Entwicklungsphase.
Schaffung von Transparenz zu Quantitäten und Qualitäten von Stoffströmen in der MRN, z.B. über einen virtuellen Marktplatz für eine starke Nutzung von biogenen Roh-/Reststoffen.	Die Verfügbarkeit an biogenen Restströmen in der MRN bleiben weiterhin intransparent und nicht quantifizierbar, was den Aufbau bioökonomischer Wertschöpfungsketten erschwert.
Breitere Nutzung von (Groß-)Unternehmen und der Wissenschaftslandschaft als Leuchttürme in der MRN auch zum Technologie-/Wissenstransfer.	Aufgrund des Mangels an Fachkräften (Verfügbarkeit /Qualifizierung von Personal) auch im Bereich Bioökonomie, verzögert sich die Entwicklung zu einer nachhaltigeren Wirtschaft.
Signifikanter Beitrag zur Reduktion der CO _{2äq} -Emissionen und damit zur Erreichung der Klimaschutzziele.	Biogene Produkte sind mehrheitlich weiterhin nicht wettbewerbsfähig, Bioökonomie verharrt als Nischenmarkt.
Förderung des Aufbaus von (neuen) Wertschöpfungsketten über bspw. Transparenz / Harmonisierung von Statistiken zu Stoffströmen.	Geringe Kapazitäten von KMU erschweren den weiteren Aufbau von Wertschöpfungsketten in der MRN.
Impact der Bioökonomie in der MRN auf die Entwicklung von Bioökonomiestrategien in Rheinland-Pfalz und Hessen, die optimalerweise mit der baden-württembergischen Landesstrategie abgestimmt sind.	

3 Wertschöpfungsketten (und -netze)

In den folgenden Tabellen werden exemplarisch vier potenzielle zukünftige Wertschöpfungsketten/-netze mit Akteuren aus der MRN schematisch dargestellt (siehe Tabelle 5, Tabelle 7, Tabelle 9, Tabelle 11, Tabelle 13). Die Informationen zu den Unternehmen aus der MRN basieren auf den erhobenen Daten aus der Stakeholder-Matrix. Die Informationsquellen die zur Entwicklung der beispielhaften Wertschöpfungsketten genutzt wurden sind in Anhang II (Seite XI) aufgelistet.

3.1 Wertschöpfungskette 1: Nährstoff-Rückgewinnung

Tabelle 5: Wertschöpfungskette 1 (Nährstoff-Rückgewinnung)

#	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungs- systeme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	Abwasserverband Bergstraße Stadtentwässer- ung Mannheim BASF SE	Abwasserverband Bergstraße Stadtentwässerung Mannheim BASF SE	Abfallwirtschaft Rhein-Neckar-Kreis (AVR)	BASF SE	BASF SE ZG Raiffeisen eG
Beschreibung	Klärschlämme Prozessabwässer aus der Industrie	Gewinnung Maschinell Trennung Trocknung Vergärung/ Fermentierung Vorgänge On-Site Lagerung Aufbereitung Distribution	Prozesse Biochemisch Chemisch Thermisch Technologien Bioraffinerie- Klärwerk	Produkte Phosphor aus Rückgewinnung Ammonium aus Rückgewinnung Bioplastik Mögliche Substitute für: Phosphor aus Lagerstätten Stickstoff aus dem Haber-Bosch- Verfahren Plastik aus fossilen Rohstoffen	Industrie Phosphor, Bioplastik und Ammonium aus Rückgewinnung als nachhaltige Rohstoffe für industrielle Produktion KMU Phosphor, Bioplastik und Ammonium aus Rückgewinnung als nachhaltige Rohstoffe für industrielle Produktion Landwirtschaft Phosphor- und Stickstoff- düngemittel

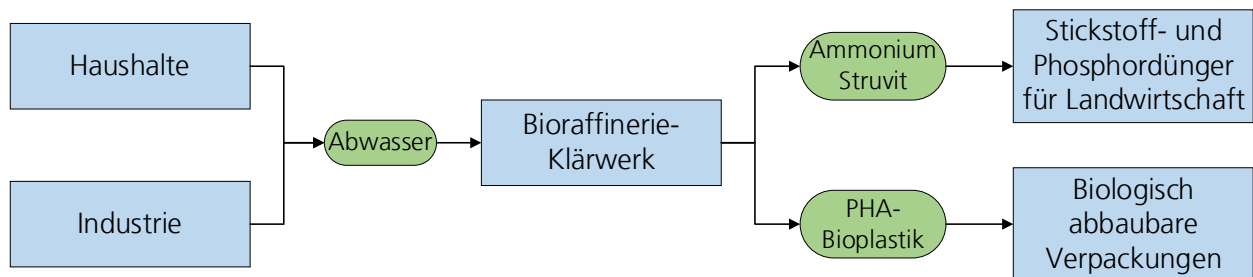


Abbildung 7: Wertschöpfungskette Nährstoff-Rückgewinnung

Phosphor wird zurzeit aus internationalen Lagerstätten importiert. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Abfallströmen erfolgt bislang kaum, wodurch eine Import-Abhängigkeit besteht. In der MRN fallen beispielsweise 35.000 t Klärschlamm an (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2023; IHK Pfalz 2023), aus dem Phosphor wiedergewonnen werden könnte. Hinzu kommen phosphorhaltige Prozessabwässer aus der Lebensmittel- und Chemieindustrie.

Eine mögliche, über den Stand der Technik hinausgehende, Wertschöpfungskette ist in Abbildung 7

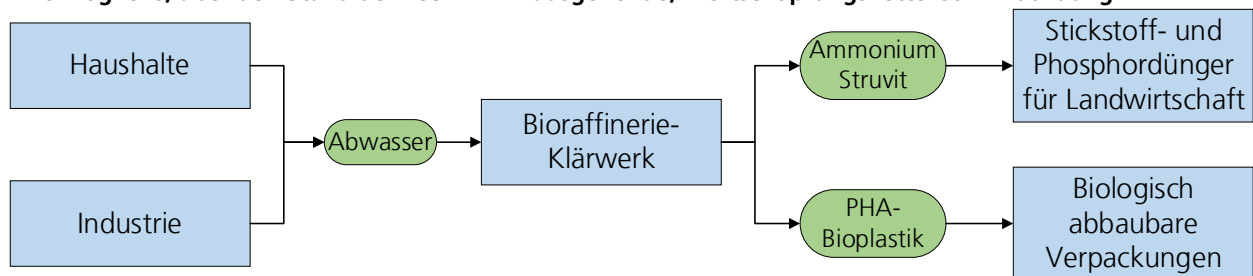


Abbildung 7 abgebildet. Aus der Industrie und den Haushalten wird Abwasser ins Klärwerk geleitet, das zu einem Bioraffinerie Klärwerk ausgebaut ist. Aus dem Klärschlamm wird im Klärwerk zum einen PHA-Bioplastik gewonnen, aus dem dann Verpackungshersteller biologisch abbaubare Verpackungen produzieren. Zum anderen wird in dem Bioraffinerie-Klärwerk Ammonium und Struvit gewonnen, das dann von Düngemittelherstellern zu Stickstoff- und Phosphordünger weiterverarbeitet wird. Diese Dünger können dann in der Landwirtschaft eingesetzt werden. In Tabelle 6 wird die Wertschöpfungskette bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN bewertet.

Tabelle 6: Bewertung der Wertschöpfungskette "Nährstoff-Rückgewinnung" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
1	Nährstoff-Rückgewinnung	<p>Noch nicht wirtschaftlich</p> <p>P-Dünger aus Phosphor-Rückgewinnung noch nicht preislich konkurrenzfähig im Vergleich zu abgebautem Phosphor aus Lagerstätten.</p> <p>Nährstoffrückgewinnung und Bioplastikproduktion werden im Pilotmaßstab erforscht.</p>	<p>Mittleres Umwelt- und Klimaschutzpotenzial</p> <p>Einsparungen bei den CO₂-Emissionen, die beim Abbau, der Verarbeitung und dem Transport von Rohphosphat entstehen.</p> <p>Wenn Stickstoff mit zurückgewonnen wird, sind Einsparungen der THG-Emissionen, die im energieintensiven Haber-Bosch-verfahren freigesetzt werden, möglich.</p>	<p>Mittlere Relevanz</p> <p>Die MRN besitzt keine eigenen P-Lagerstätten und ist somit auf den Import von Phosphor angewiesen. Eine Rückgewinnung von Phosphor aus Rest- und Abfallströmen wäre somit von hoher ressourcenstrategischer Relevanz. Des Weiteren sind in der MRN große Düngemittelhersteller wie die BASF SE angesiedelt, die sowohl über das Wissen zur Weiterverarbeitung zu Düngemittel verfügen als auch die Vertriebswege etabliert haben.</p>

3.2 Wertschöpfungskette 2: CO₂-Recycling

Tabelle 7: Wertschöpfungskette 2 (CO₂-Recycling)

	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungs- systeme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	Produzierendes Gewerbe Biogasanlagen Kläranlagen	-	ICODOS GmbH Südzucker AG BHYO GmbH Freudenberg SE Heidelberg Materials	ICODOS GmbH Südzucker AG BHYO GmbH Brain Biotech Südzucker AG	BASF SE
Beschreibung	CO ₂ aus der Abluft (Punktquellen)	-	Technologien Anlagen zur Umwandlung von CO ₂ zu Biomethan (CH ₄) und grünem Methanol	Produkte Treibstoffe und Brennstoffe Biomethan Grünes Methanol Intermediate Nachhaltige Ausgangsstoffe (Plattform- chemikalien) „Grüne“ Chemikalien Mögliche Substitute für: Fossiles Erdgas Fossiles Methanol	Industrie Nachhaltige Inputstoffe für Produktionsprozesse Nachhaltige Logistik mit Biogas KMU Nachhaltige Inputstoffe für Produktionsprozesse, Nachhaltige Logistik mit Biogas Privathaushalte Nachhaltiger Kraftstoff für private PKWs

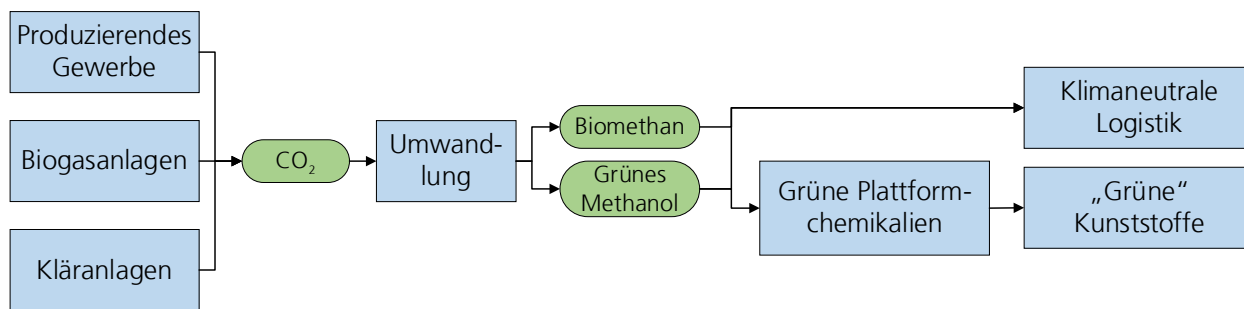


Abbildung 8: Wertschöpfungskette CO₂-Recycling

Eine potenzielle Wertschöpfungskette für die Nutzung von CO₂ ist in Abbildung 8 dargestellt. Die CO₂-Emissionen aus Punktquellen wie dem produzierenden Gewerbe, Biogasanlagen und Kläranlagen werden zu Biomethan und grünem Methanol umgewandelt. Daraus entstehen zum einen, als Intermediate, grüne Plattformchemikalien für die chemische Industrie, die daraus nachhaltige Kunststoffe herstellt. Zum anderen können Biomethan und Grünes Methanol in der klimaneutralen Logistik im Schwerlastverkehr und ÖPNV eingesetzt werden. In Tabelle 8 wird die Wertschöpfungskette bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN bewertet.

Tabelle 8: Bewertung der Wertschöpfungskette "CO₂-Recycling" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN.

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
2	CO ₂ -Recycling	<p>Noch nicht wirtschaftlich</p> <p>CO₂ aus Punktquellen und anschließende Verwendung (CCU) könnte bei entsprechender Bepreisung von CO₂-Emissionen wirtschaftlich tragfähig werden.</p>	<p>Hohes Einsparpotenzial</p> <p>Große Mengenströme möglich.</p> <p>Gewinnung von CO₂ aus der Luft ist energieintensiv.</p> <p>CO₂ aus Punktquellen und anschließende Verwendung (CCU) könnte CO₂-Emissionen stark reduzieren.</p> <p>Bei energetischer Nutzung wird zwar fossiles C substituiert, jedoch nur kurzfristig, da durch die Verbrennung in z.B. PKWs in Form von synthetischen Kraftstoffen das CO₂ wieder in die Atmosphäre entlassen wird.</p> <p>Bei stofflicher Verwendung in Form von z.B. Plattformchemikalien und daraus hergestellten Produkten, wird dadurch Kohlenstoff fixiert und damit längerfristig aus der Atmosphäre entzogen.</p>	<p>Hohe Relevanz</p> <p>In der MRN sind viele Konzerne und KMUs aus dem Bereich Chemie angesiedelt, die die „Renewable Carbon“ – Initiative unterstützen⁴. Dies zeigt ein hohes Interesse der Unternehmen in der MRN an CO₂-Recycling.</p>

⁴ renewable-carbon-initiative.com

3.3 Wertschöpfungskette 3: Grünschnitt

Tabelle 9: Wertschöpfungskette 3 (Grünschnitt)

#	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungssysteme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	Stadtraumservice-Ämter in der MRN	Stadtraumservice-Ämter in der MRN	Betreiber Grüne Bioraffinerie	Intermediate: Proteinextrakt HMF (Hydroxymethylfurfural)	Dämmstoffindustrie Verpackungsindustrie Futtermittelindustrie
Beschreibung	Nicht verholzter, feuchter Grünschnitt von kommunalen Flächen	Gewinnung Maschinell Trocknung Aus Vergärung/ Fermentierung Vorgänge On-Site Lagerung Aufbereitung Distribution	Prozesse Biologisch Biochemisch Thermochemisch Technologien Grüne Bioraffinerie	Produkte Biobasierter Kunststoff Protein-Futtermittel Isolier-Fasermatten Graspapier	-

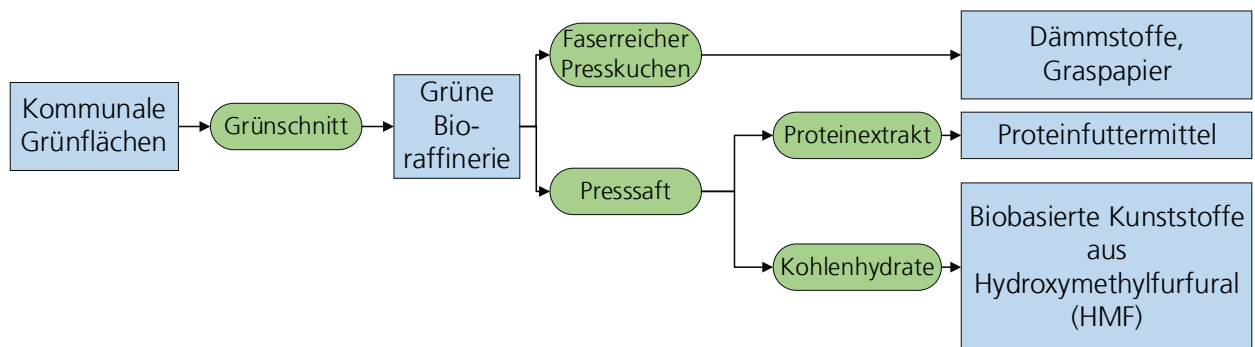


Abbildung 9: Wertschöpfungskette Grünschnitt

Abbildung 9 zeigt eine exemplarische Wertschöpfungskette für die Nutzung von Grünschnitt in einer Grünen Bioraffinerie. Feuchter, nicht verholzter Grünschnitt von kommunalen Grünflächen wird in der Grünen Bioraffinerie in faserreichen Presskuchen und kohlenhydrat- und proteinreichen Presssaft fraktioniert. Die herausgelösten pflanzlichen Proteine werden im letzten Schritt zu Proteinfutter für Hühner und Schweine (Monogastrier) umgewandelt, das als Soja-Substitut verfüttert werden kann. Der faserreiche Presskuchen kann für die Herstellung von pflanzenbasierten Dämmstoffen und regionalem Graspapier eingesetzt werden. Der zuckerhaltige braune Presssaft wird zum Intermediat Hydroxymethylfurfural (HMF) umgewandelt,

welches im letzten Schritt zu biobasiertem Kunststoff für den Einsatz als z.B. PET-Flaschen Substitut wird. In Tabelle 10 wird die Wertschöpfungskette bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN bewertet.

Tabelle 10: Bewertung der Wertschöpfungskette "Grünschnitt" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
3	Grünschnitt	<p>Noch nicht marktreif</p> <p>Die Nutzung von Grünschnitt in Grünen Bioraffinerien ist noch weitestgehend Gegenstand der Forschung in Pilotanlagen.</p>	<p>Hohes Einsparpotenzial</p> <p>Die Versorgung von Schweinen und Hühnern mit regionalem Protein-Futtermittel ersetzt den Import von Soja-Proteinfutter aus Gebieten, in dem die Biodiversität und Böden unter dem Sojaanbau zurückgedrängt bzw. ausgelaugt werden.</p> <p>Naturfaserbasierte Dämmstoffe binden CO₂ und substituieren CO₂-intensive Mineral- und Steinwolle.</p> <p>Regionales Graspapier schützt artenreiche Wälder, die für die Papierherstellung sonst gerodet würden.</p> <p>Kunststoffflaschen aus HMF ersetzen fossiles Erdöl.</p>	<p>Hohe Relevanz</p> <p>Regional erzeugtes Proteinfuttermittel macht die MRN unabhängiger von Futtermittelimporten.</p> <p>In der MRN sind viele Hersteller von Dämmstoffen und Kunststoffen angesiedelt, die nun die Möglichkeit hätten lokal verfügbare Ressourcen zu nutzen.</p>

3.4 Wertschöpfungskette 4: Restbiomassen

Tabelle 11: Wertschöpfungskette 4 (Verwertung von Restbiomassen)

#	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungs- systeme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	<p>Bunge Deutschland GmbH</p> <p>Heidelberger Brauerei</p> <p>Palatia Malz GmbH</p> <p>REMONDIS GmbH & Co. KG (Biotonne)</p> <p>Stadtraumservice Mannheim (Biotonne)</p>	<p>Bunge Deutschland GmbH</p> <p>REMONDIS GmbH & Co. KG (Biotonne)</p> <p>Stadtraumservice Mannheim (Biotonne)</p> <p>Terra Fertilis Rinden- und Erdenwerk (Biotonne)</p>	<p>SENECT GMBH & CO. KG</p> <p>aponix GmbH</p>	<p>Biogasanlage Lustadt</p>	<p>Terra Fertilis Rinden- und Erdenwerk</p> <p>Textilhersteller</p> <p>Lebensmittelhandel</p>
Beschreibung	<p>Organische Abfälle aus Biotonne</p> <p>Treber von Brauereien</p>		<p>Technologien</p> <p>Insektenbio- raffinerie</p>	<p>Produkte und Intermediate</p> <p>Futtermittelpellets aus Insekten</p> <p>Textil-Imprägnier- Mittel aus Chitosan</p>	<p>Industrie</p> <p>Textilindustrie</p> <p>Lebensmittelhandel</p> <p>KMU</p> <p>Erdenwerke</p> <p>Privathaushalte</p> <p>Endverbraucher</p>

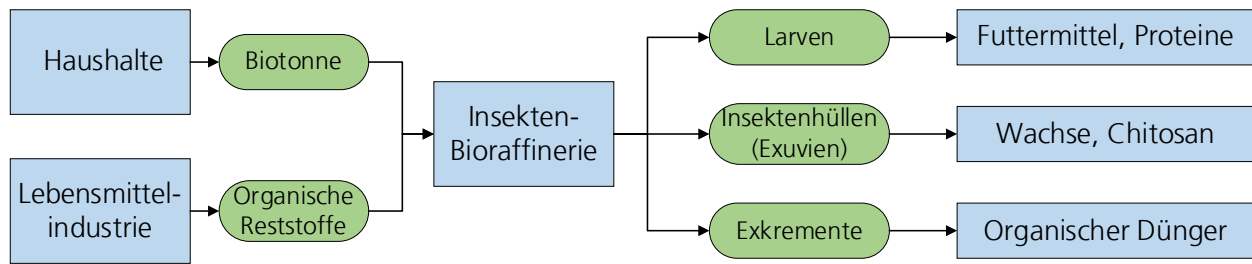


Abbildung 10: Wertschöpfungskette Restbiomassen

In der in Abbildung 10 veranschaulichten Wertschöpfungskette liefern Bioabfälle aus der Biotonne, Treber aus Brauereien und Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie das Substrat für die Insektenbioraffinerie.

In der MRN fielen im Jahr 2021 186.000 t Bioabfall an. Zusätzlich zu den Mengen an Treber aus den Brauereien in der MRN ergibt sich ein großes Potenzial an verwertbarer Biomasse. Diese Menge an organischer Biomasse aus Lebensmittelresten kann an Insekten in einer Insektenbioraffinerie verfüttert werden. Diese wandeln die Biomasse in wertvolle Proteine um, die dann wiederum als Tierfutter eingesetzt werden können.

Die entwickelten Insekten werden in der Bioraffinerie zu Futterpellets und Wachsen verarbeitet. Aus den Hüllen wird Chitosan gewonnen. Des Weiteren entsteht aus den Ausscheidungen der Insekten wertvoller organischer Dünger, der an Pflanzensubstrathersteller verkauft wird. Das gewonnene Chitosan kann als Schlichte- und Imprägniermittel von Funktionskleidung eingesetzt werden.

Durch den Ersatz von Fischmehl durch Insekten im Futtermittel werden Fischbestände in den Weltmeeren geschont. Außerdem wird durch dieses Konzept ein geschlossener Kreislauf gebildet, in dem die Nährstoffe und Produkte über kurze Distanzen ressourcensparend transportiert werden können. Die Insekten stellen eine regional verfügbare, hochwertige Proteinquelle dar. In Tabelle 12 wird die Wertschöpfungskette bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN bewertet.

Tabelle 12: Bewertung der Wertschöpfungskette "Restbiomassen" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
4	Restbiomassen	<p>Noch nicht marktreif</p> <p>Die Nutzung von Restbiomassen in Insektenbioraffinerien ist noch weitestgehend Gegenstand der Forschung in Pilotanlagen. Es gibt auch schon kommerzielle Anbieter am Markt, jedoch verwenden diese nicht Restbiomasse aus der Biotonne als Substrat, da es rechtlich noch nicht möglich ist und außerdem ein sehr inhomogenes Inputmaterial darstellt.</p>	<p>Hohes Einsparpotenzial</p> <p>Durch die Verwendung der Restbiomassen in der Insektenbioraffinerie werden vorhandene Reststoffe regional genutzt und damit auch lange Transportwege vermieden. Durch die Substitution von Futtermittelimporten wie Soja und Fischmehl werden Arten an Land und in den Ozeanen geschont.</p> <p>Chitosanbasierte Imprägnierung für Textilien würde der Einsatz von PFAS reduzieren und somit die Umwelt und die menschliche Gesundheit schonen.</p>	<p>Mittlere Relevanz</p> <p>Der Einsatz der insektenbasierten Futtermittel und wurde die Landwirtschaft in der MRN ein Stück unabhängiger machen von globalen Schwankungen der Futtermittelpreise, auch wenn die eigen-erzeugten Mengen nicht vollkommen ausreichen würden.</p>

3.5 Wertschöpfungskette 5: Holzige Reststoffe

Tabelle 13: Wertschöpfungskette 5 (Holzige Reststoffe)

#	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungs- systeme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	<p>Stadtraumservice-Ämter in der MRN</p> <p>Altholz-Recycler</p>	<p>Stadtraumservice-Ämter in der MRN</p> <p>Altholz-Recycler</p>	<p>Betreiber von Lignocellulose-Bioraffinerien</p>	<p>Pyrolyse-Unternehmen</p> <p>Plattformchemikalien-Produzenten</p>	<p>Automobilbranche</p> <p>Abwasserwirtschaft</p> <p>Betreiber von Biogasanlagen</p> <p>H₂-Produzenten</p> <p>Kunststoffhersteller</p>
Beschreibung	<p>Holzige Biomasse aus Altholz und Grünschnitt von kommunalen Grünflächen (z.B. Straßenbegleitgrün)</p>	<p>Gewinnung</p> <p>Maschinell</p> <p>Trocknung</p> <p>Aus Vergärung/Fermentierung</p> <p>Vorgänge On-Site</p> <p>Lagerung</p> <p>Aufbereitung</p> <p>Distribution</p>	<p>Prozesse</p> <p>Biologisch</p> <p>Biochemisch</p> <p>Thermochemisch</p> <p>Technologien</p> <p>Lignocellulose-Bioraffinerie</p>	<p>Produkte</p> <p>Aktivkohle</p> <p>Biobasierter Kunststoff</p> <p>Biogenes Kunstharz</p>	

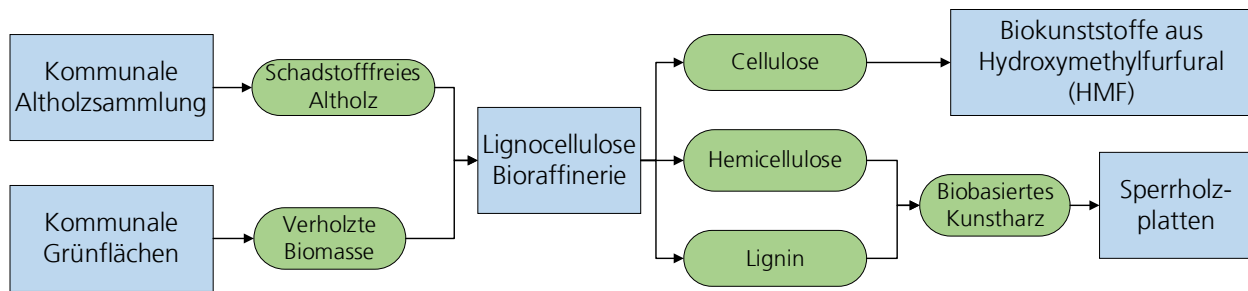


Abbildung 11: Wertschöpfungskette Holzige Reststoffe

In der MRN fielen im Jahr 2021 71.000 t Altholz und 155.000 t Grünabfälle an, die als wertvolle Reststoffe genutzt werden könnten. Abbildung 11 veranschaulicht eine mögliche Wertschöpfungskette für eine Lignocellulose-Bioraffinerie. Altholz und holzige Biomasse von kommunalen Grünflächen wird in der Lignocellulose-Bioraffinerie in Lignin, Cellulose und Hemicellulose aufgespalten. Die Kombination von Phenolen aus Lignin und Furfural aus Hemicellulose ermöglichen die Produktion von biobasiertem Kunstharz, das beispielsweise in der Produktion von Sperrholzplatten eingesetzt werden kann. In Tabelle 14 wird die Wertschöpfungskette bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN bewertet.

Tabelle 14: Bewertung der Wertschöpfungskette "Holzige Reststoffe" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
5	Holzige Reststoffe	<p>Noch nicht marktreif</p> <p>Die Nutzung von holzigen Reststoffen in Lignocellulose-Bioraffinerien ist noch weitestgehend Gegenstand der Forschung in Pilotanlagen.</p>	<p>Hohes Einsparpotenzial</p> <p>Ein Großteil des Altholzes und holzigen Grünschnitts wird noch thermisch zur Energiegewinnung genutzt (siehe Tabelle 1), wodurch das biogene CO₂ wieder freigesetzt wird - eine stoffliche Nutzung würde hingegen CO₂ längerfristig binden und so der Atmosphäre entziehen.</p> <p>Durch eine längere Nutzungszeit auch in Form der Kaskadennutzung des Altholzes wird der Neueinschlag für frisches Holz in artenreichen Wäldern vermindert und der Primärrohstoffbedarf an frischem Holz sinkt.</p>	<p>Hohe Relevanz</p> <p>In dem Prozess der Verarbeitung und Umwandlung von holziger Restbiomasse sind viele Schritte notwendig, die ein großes Know-how in Verfahrenstechnik speziell im Chemiebereich erfordern. – die MRN beherbergt mehrere Chemieunternehmen, die dieses Wissen bei der Erschließung des holzigen Reststoffstroms einsetzen können.</p>

4 Anhang

4.1 Anhang I: Stoffstromanalyse

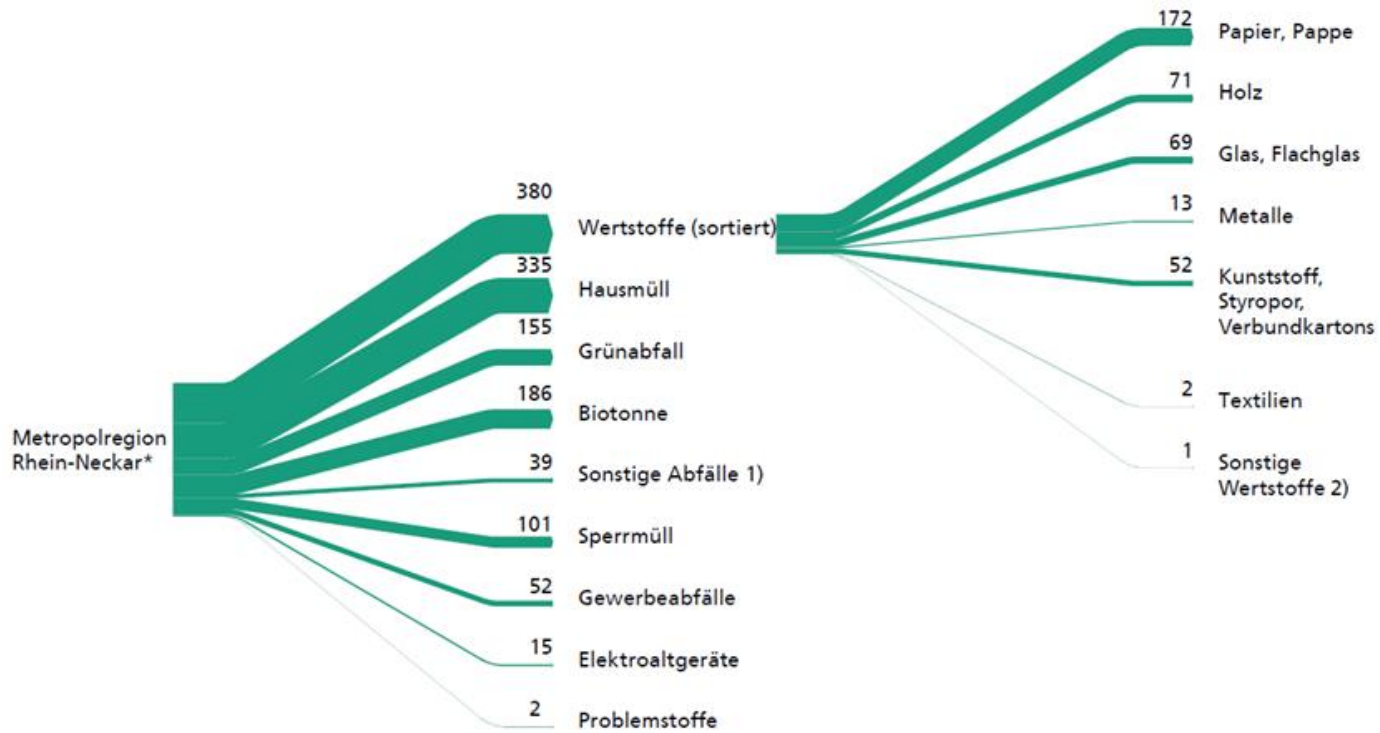


Abbildung 12: Rest- und Abfallströme in der Metropolregion Rhein-Neckar ohne Baumassenabfälle [in 1.000 t]

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

2) Altfett, Kabel, Teppiche, Kork, Altreifen

Tabelle 15: Rest- und Abfallströme in der Metropolregion Rhein-Neckar nach Regionen

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	[in 1.000 t]									
		Abfallaufkommen insgesamt	Baumassenabfälle	Hausmüll	Grünabfall	Biotonne	Sonstige Abfälle 1)	Sperrmüll	Gewerbe- und Baustellenabfälle	Elektroaltgeräte*	Problemstoffe
Baden- Württemberg	Stadt Heidelberg	72,9	4,0	18,6	5,0	10,1	6,2	4,6	3,8	0,7	0,2
	Stadt Mannheim	200,2	55,7	60,8	5,4	11,2	7,2	15,4	13,4	1,3	0,3
	Neckar Odenwald Kreis	261,7	171,1	15,1	29,7	5,0	6,4	2,0	6,1	1,3	0,2
	Rhein-Neckar-Kreis	289,5	44,3	62,9	24,4	53,1	8,3	10,6	1,0	2,6	0,1
Hessen	Kreis Bergstraße	160,7	17,9	29,7	18,2	30,2	4,9	6,6	6,8	2,3	0,1
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	125,1	26,1	34,3	5,0	9,0	2,7	13,3	7,0	1,2	0,0
	Stadt Worms	62,1	11,6	16,8	2,3	6,5	1,4	5,6	2,9	0,6	0,1
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	27,5	0,4	6,5	3,2	3,9	0,3	2,6	0,2	0,4	0,0
	Stadt Speyer	93,2	65,1	10,8	1,1	4,2	0,3	2,2	1,0	0,4	0,0
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	32,4	0,6	6,8	9,9	2,9	0,2	2,1	1,4	0,4	0,0
	Stadt Landau (Pfalz)	27,1	0,6	5,1	3,1	5,1	0,7	2,9	0,4	0,3	0,0
	Rhein-Pfalz -Kreis	79,0	5,2	16,8	13,8	6,6	0,2	6,8	0,8	1,1	0,2
	Landkreis Bad Dürkheim	165,2	67,5	22,4	10,2	16,0	0,4	11,6	5,0	1,0	0,2
	Landkreis Germersheim	80,1	4,1	14,3	13,7	12,1	0,0	9,1	0,8	0,9	0,1
	Landkreis Südliche Weinstraße	65,4	3,1	13,9	9,5	10,1	0,0	5,7	1,0	0,8	0,2
	Summe	1742,0	477,4	334,8	154,5	186,0	39,2	101,2	51,6	15,4	1,8

1) Baden-Württemberg: Klärschlamm, Industrieschlamm, Schlamm aus der Papierherstellung, Formsande aus Gießereien, sonstige produktionsspezifische Massenabfälle, Straßenkehricht, Sinkkastenschlamm, Bodenaushub gefährliche Stoffe enthaltend, Aschen, Stäube, Schlacken, Reaktionsprodukte, Abfälle von Stationierungstreitkräften und asbesthaltige Abfälle.

Hessen: Abfälle von öffentlichen Flächen und Einrichtungen, z. B. Marktabfälle, Straßenkehricht, Papierkorbentleerungen, Parkabfälle, Friedhofsabfälle und Abfälle aus der Reinigung von öffentlichen Infrastrukturen wie Abfälle aus der Kanalreinigung, Fäkalschlamm unter diese Kategorie.

Rheinland-Pfalz: Abfälle aus Abwasser und Wasserbehandlung, Markt- und Straßenreinigungsabfälle.

*Für Rheinland-Pfalz wurden die Daten von Baden-Württemberg umgerechnet.

Tabelle 16. Sortierte Wertstoffe in der Metropolregion Rhein-Neckar

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	[in 1.000 t]							
		Wertstoffe insgesamt	Papier/Pappe	Holz	Glas/ Flachglas	Metalle	Kunststoffe, Styropor, Verbundkartons	Textilien 3)	Sonstige Wertstoffe 2)
Baden- Württemberg	Stadt Heidelberg	19,7	9,6	3,0	4,4	1,1	1,6	-	-
	Stadt Mannheim	29,5	18,1	3,2	6,8	0,9	0,0	0,5	-
	Neckar Odenwald Kreis	24,8	11,2	7,2	3,7	1,0	1,1	0,6	0,0
	Rhein-Neckar-Kreis	82,2	38,5	16,7	15,8	4,8	5,8	0,6	-
Hessen	Kreis Bergstraße	43,9	17,7	7,0	8,1	1,0	9,3	0,3	0,6
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	26,5	11,1	5,5	3,4	0,8	5,5	-	0,1
	Stadt Worms	14,3	5,8	3,8	1,8	0,4	2,5	0,0	0,1
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	9,9	4,6	1,4	1,9	0,2	1,9	-	0,0
	Stadt Speyer	8,2	3,9	1,4	1,3	0,1	1,5	0,0	0,1
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	8,1	3,3	1,3	1,4	0,2	1,8	0,0	0,0
	Stadt Landau (Pfalz)	8,6	3,7	1,4	1,4	0,2	1,8	-	0,0
	Rhein-Pfalz-Kreis	27,4	12,8	3,3	4,9	0,4	6,0	-	0,0
	Landkreis Bad Dürkheim	30,9	12,2	7,8	5,3	1,1	4,3	0,1	0,2
	Landkreis Germersheim	24,9	9,9	5,3	3,8	0,5	5,3	0,0	0,0
	Landkreis Südliche Weinstraße	21,1	9,4	2,9	4,4	0,3	4,0	-	0,1
	Summe	380,0	171,8	71,3	68,5	13,1	52,3	2,0	1,2

2) Baden-Württemberg: Altfett, Kabel und Teppiche. Hessen und Rheinland-Pfalz: Kork und Altreifen.

3) Hessen: Daten nicht präzise für Kreis Bergstraße verfügbar, daher über Einwohneranzahl umgerechnet.

Tabelle 17: Qualitative Bewertung der Stoffströme: Baumassenabfälle

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	[in 1.000 t]						
		Baumassenabfälle insgesamt	davon					
			1701 (Beton, Ziegel,Fliesen, Keramik)	Verwertung 1701 (Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik)	Beseitigung 1701 (Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik)	1705 (Boden, Steine, Baggergut)	Verwertung 1705 (Boden, Steine, Baggergut)	Beseitigung 1705 (Boden, Steine, Baggergut)
Baden- Württemberg	Stadt Heidelberg	4,0	4,0	1,2	2,8	4,0	0,2	3,8
	Stadt Mannheim	55,7	33,1	10,1	23,0	55,7	3,4	52,3
	Neckar Odenwald Kreis	171,1	3,5	1,1	2,4	171,1	10,4	160,7
	Rhein-Neckar-Kreis	44,3	0,8	0,2	0,6	44,3	2,7	41,6
Hessen	Kreis Bergstraße	17,9	5,2	4,3	0,9	6,0	3,3	2,8
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	26,1	7,8	4,8	3,0	14,9	9,9	5,1
	Stadt Worms	11,6	7,4	4,5	2,8	3,8	2,5	1,3
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
	Stadt Speyer	65,1	54,9	33,8	21,1	10,1	6,7	3,4
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	0,6	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
	Stadt Landau (Pfalz)	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
	Rhein-Pfalz-Kreis	5,2	5,2	3,2	2,0	0,0	0,0	0,0
	Landkreis Bad Dürkheim	67,5	1,2	0,7	0,5	54,7	36,1	18,5
	Landkreis Germersheim	4,1	1,6	1,0	0,6	0,8	0,5	0,3
	Landkreis Südliche Weinstraße	3,1	2,7	1,6	1,0	0,0	0,0	0,0
	Summe	477,4	128,5	67,3	61,1	365,4	75,7	289,8
			100%	52,4%	47,6%	100%	20,7%	79,3%

Aufgliederung des Stoffstroms Baumassenabfälle nach Verwertung und Beseitigung im Jahr 2021.

Aus der Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz geht hervor, dass 61,6 % der Abfallart 17 01 (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik) verwertet und 38,4 % im ganzen Bundesland beseitigt werden. Werden nur die Landkreise und Städte, welche in der Metropolregion Rhein-Neckar liegen betrachtet, entsprechen diese 38,4 % 31.117,8 t, die im Jahr 2021 beseitigt wurden (Ministerium für Klimaschutz 2023).

In Hessen werden 82,2 % der Abfallart 17 01 (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik) verwertet und 17,8 % beseitigt. In der Abfallmengenbilanz des Landes Hessen liegt keine Aufgliederung der Abfallschlüssel nach Landkreisen und Städten vor, daher wurde hier die Gesamtmenge auf die Einwohner Bergstraße runtergerechnet (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2022).

Tabelle 18: Qualitative Bewertung der Stoffströme: Holz

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	[in 1.000 t]			
		Sperrige Abfälle	davon		
			Holz ohne gefährliche Stoffe	Recycling	Sonstige Verwertung (MHKW)
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	13,3	5,5	-	5,4
	Stadt Worms	5,6	3,8	3,1	-
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	2,6	1,4	1,4	-
	Stadt Speyer	2,2	1,4	1,3	-
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	2,1	1,3	1,3	-
	Stadt Landau (Pfalz)	2,9	1,4	-	1,3
	Rhein-Pfalz-Kreis	6,8	3,3	-	3,3
	Landkreis Bad Dürkheim	11,6	7,8	-	6,0
	Landkreis Germersheim	9,1	5,3	3,9	-
	Landkreis Südliche Weinstraße	5,7	2,9	-	2,3
	Summe	62,0	34,1	11,0	18,3
				32,3%	53,70%

Aufgliederung des Stoffstroms Holz nach Verwertung und Beseitigung im Jahr 2021.

Angaben bezüglich der Verwertung von Holz liegt nur für Rheinland-Pfalz vor (Ministerium für Klimaschutz 2023). Für Baden-Württemberg gibt es nur Angaben darüber, wie Sperrmüll als gesamtes Verwertet wird, ohne weitere Aufschlüsselung (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022).

Tabelle 19: Qualitative Bewertung der Stoffströme: Grünabfall

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	[in 1.000 t]				
		Grünabfall	davon			
			Kompostierung*	Vergärung*	Bodenaufbringung	Brennstoff
Baden- Württemberg	Stadt Heidelberg	5,0	5,0			
	Stadt Mannheim	5,4	5,4			
	Neckar Odenwald Kreis	29,7	23,8			5,9
	Rhein-Neckar-Kreis	24,4	7,3	2,4		14,6
Hessen	Kreis Bergstraße	18,2				
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	5,0	5,0			
	Stadt Worms	2,3	2,3			
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	3,2	3,2			
	Stadt Speyer	1,1				1,1
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	9,9	9,9			
	Stadt Landau (Pfalz)	3,1	3,1			
	Rhein-Pfalz-Kreis	13,8	9,7			4,1
	Landkreis Bad Dürkheim	10,2	8,5			1,7
	Landkreis Germersheim	13,7	13,7			
Landkreis Südliche Weinstraße	9,5	5,3			4,2	
	Summe	154,5	102,2	2,4		31,7
			75%	2%		23%

Aufgliederung des Stoffstroms Grünabfall nach Verwertung und Beseitigung im Jahr 2021.

*Daten für Baden-Württemberg: (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2021)

Für den Kreis Bergstraße (Hessen) liegen keine Informationen zur Verwertungswegen von Gartenabfall durch das Land vor, er musste daher aus der Berechnung herausgenommen werden.

Tabelle 20: Qualitative Bewertung der Stoffströme: Biotonne

Bundesland	Kreis/ Region/ Regierungsbezirk/ Land	Biotonne	kg/EW	[in 1.000 t]	
				davon	
				Kompostierung*	Vergärung*
Baden- Württemberg	Stadt Heidelberg	10,1	64,0	10,1	
	Stadt Mannheim	11,2	36,0	11,2	
	Neckar Odenwald Kreis	5,0	34,0	3,0	2,0
	Rhein-Neckar-Kreis	53,1	97,0		53,1
Hessen	Kreis Bergstraße	30,2	111,5		30,2
Rheinland- Pfalz	Stadt Ludwigshafen (Rhein)	9,0	52,3	-	9,0
	Stadt Worms	6,5	77,5		6,5
	Stadt Neustadt (Weinstraße)	3,9	73,1		3,9
	Stadt Speyer	4,2	83,6		4,2
	Stadt Frankenthal (Pfalz)	2,9	59,8		2,9
	Stadt Landau (Pfalz)	5,1	109,6		5,1
	Rhein-Pfalz-Kreis	6,6	42,5		6,6
	Landkreis Bad Dürkheim	16,0	120,3		16,0
	Landkreis Germersheim	12,1	93,7		12,1
	Landkreis Südliche Weinstraße	10,1	90,7	10,1	0,0
	Summe	186,0		34,4	151,7
			Durchschnitt: 76,4	18%	82%

Aufgliederung des Stoffstroms Biotonne nach Verwertung und Beseitigung im Jahr 2021.

*Daten für Baden-Württemberg: (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2021)

Für den Kreis Bergstraße (Hessen) liegen keine Informationen zur Verwertungswegen von Bioabfall durch das Land vor.

4.2 Anhang II: Potenzialanalyse

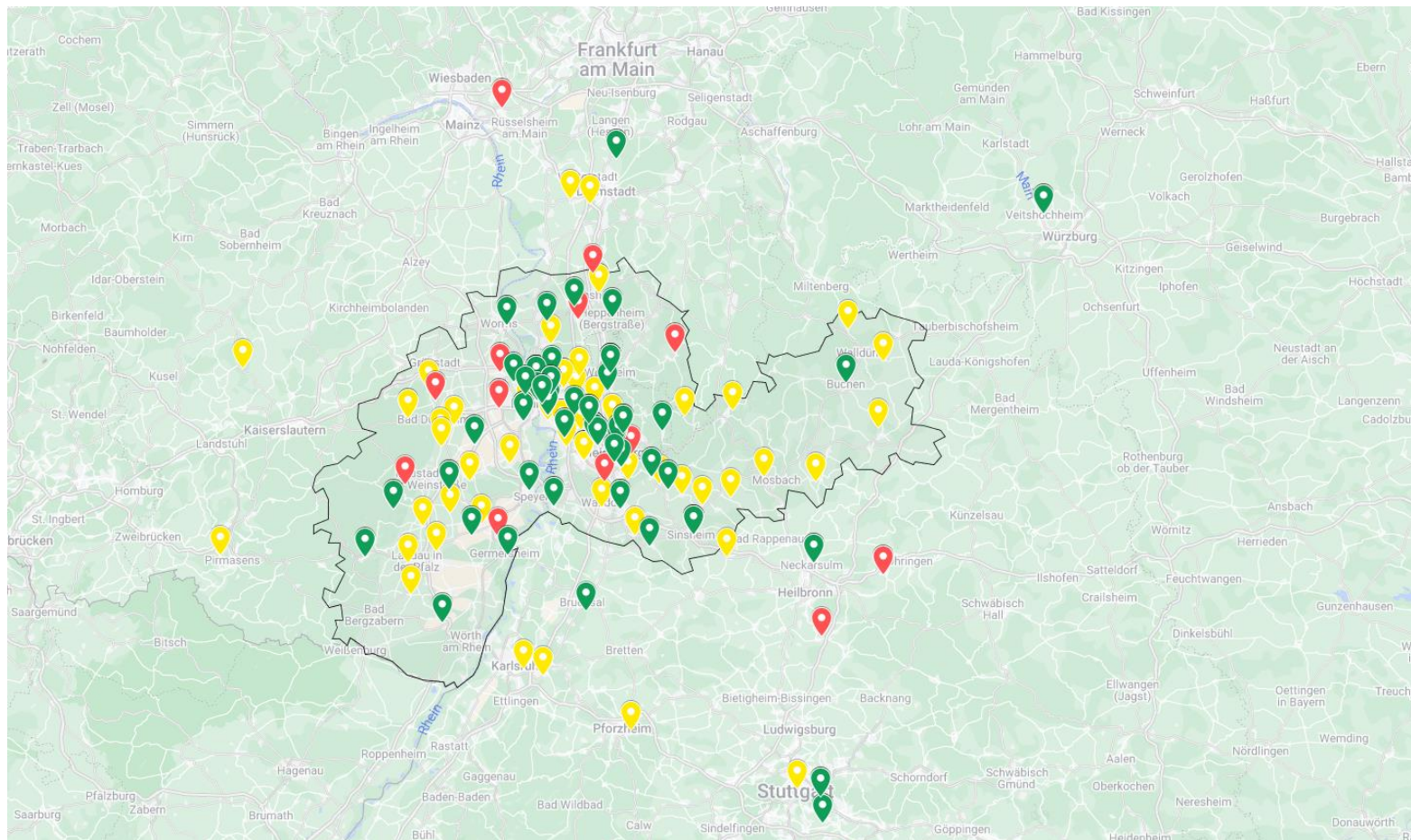


Abbildung 13: Übersichtskarte mit allen Akteuren (auch im Umfeld der MRN)

Es wurden insgesamt 274 Akteure in der MRN inklusive ihres Umfeldes identifiziert, die entweder als Reststoffanbieter, -nachfrager oder Technologieanbieter für die Verarbeitung und Umwandlung von Restbiomassen und mineralischen Reststoffen auftreten oder potenziell auftreten könnten (siehe Abbildung 13).

Tabelle 21: Wertschöpfungskette (Wasserstoffgewinnung)

#	1	2	3	4	5
	Rohstoff/ Biomasse	Versorgungs- systeme	Prozesse und Technologien	Produkte und Intermediate	Branchen und Anwendungen
Stakeholder	<p>Abwasserverband Bergstraße</p> <p>Stadtentwässer- ung Mannheim</p>	<p>Abwasserverband Bergstraße</p> <p>Stadtentwässerung Mannheim</p>	BHYO GmbH	BHYO GmbH	<p>Thyssen-Krupp Materials Processing Europe GmbH (NL Mannheim)</p> <p>Verkehrsbetriebe in der MRN</p>
Beschreibung	<p>Klärschlämme aus Industrie und Gesellschaft</p> <p>Organische Abfallstoffe wie Grünschnitt, Altholz, Gartenabfälle, Lignocellulose, Reststoffe aus Fermentations- prozessen</p>	<p>Gewinnung</p> <p>Maschinell</p> <p>Aus Trocknung</p> <p>Aus Vergärung/ Fermentierung</p> <p>Vorgänge On-Site</p> <p>Lagerung</p> <p>Aufbereitung</p> <p>Distribution</p>	<p>Prozesse</p> <p>Biologisch</p> <p>Biochemisch</p> <p>Thermochemisch</p> <p>Technologien</p> <p>CCU</p>	<p>Produkte</p> <p>Grüner Wasserstoff (aus Biomasse /Klärschlamm)</p>	<p>Industrie</p> <p>Stahlerzeugung</p> <p>Verkehr</p> <p>Treibstoff für Schwerlastverkehr und ÖPNV (z. B. H₂-Rhein-Neckar)</p>

Tabelle 22: Bewertung der Wertschöpfungskette "Wasserstoffgewinnung" bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Relevanz für die MRN

#	Wertschöpfungskette	Wirtschaftlichkeit	Umwelt-, Klima- und Biodiversitätsschutz	Relevanz für die MRN
3	Wasserstoffgewinnung	<p>Noch nicht wirtschaftlich</p> <p>Noch nicht wirtschaftlich tragfähig aufgrund der fehlenden Infrastruktur und der Konkurrenz durch fossile Energieträger.</p> <p>Langfristig voraussichtlich lohnend aufgrund der politischen Unterstützung in Form der Wasserstoffstrategie auf Bundesebene.</p> <p>Hohe Subventionen und Investitionen notwendig.</p>	<p>Mittleres Einsparpotenzial</p> <p>Kann in der Stahlerzeugung durch die Substitution von fossilen Energieträgern wie Kohle und Erdgas große Mengen CO₂ einsparen.</p> <p>Kann im Schwerlastverkehr (Bahn, Bus, LKW, Schiff) CO₂-Emissionen vermindern, wo keine Elektrifizierung möglich ist.</p> <p>Kann langfristig im Bereich Gebäudeheizung fossile Energieträger wie Erdöl und Erdgas ersetzen.</p>	<p>Hohe Relevanz</p> <p>Die MRN ist mit den Projekten „H2-Rivers“ und „H2-Rhein-Neckar“⁵ auf dem Weg, eine wasserstoffbasierte Mobilität in der Metropolregion zu etablieren. Mit der skizzierten Wertschöpfungskette könnte ein Teil des Wasserstoffbedarfs aus regionalen Quellen gedeckt werden.</p>

⁵ www.h2rivers.de/

Hintergrund-Quellen zu den dargestellten Wertschöpfungsketten (Kap. 3):

1. Nährstoff-Rückgewinnung

- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2022/wegweisendes-pilotprojekt-rokka-erzeugt-duenger-und-rohstoffeaus-abwasser.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/koalaplant.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/wertstoffrueckgewinnung-naehrstoffe-metalle-biogas/rueckgewinnung-von-phosphor.html>

2. CO₂-Recycling

- <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/fd5b6ee9-ca40-46c3-b300-f4a32ff34797/download>
- <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/biotechnisches-co2-recycling-als-beitrag-zum-klimaschutz>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/rokka.html>
- <https://www.chemie.de/news/1167653/farbstoffe-aus-atmosphaerischem-co.html>
- <https://renewable-carbon.eu/publications/product/making-a-case-for-carbon-capture-and-utilisation-ccu-it-is-much-more-than-just-a-carbon-removal-technology/>
- vom Berg, C. and Carus, M. 2023: Making a Case for Carbon Capture and Utilisation (CCU) – It Is much more than just a Carbon Removal Technology. Renewable Carbon Initiative (ed.), Hürth 2023;

3. Grünschnitt (Grüne Bioraffinerie)

- Kamm et al. (2012): Biorefineries – Industrial Processes and Products, DOI: 10.1002/14356007.104_101
- <https://www.carmen-ev.de/2020/08/23/gruene-bioraffinerie-ein-rohstoff-viele-produkte/>
- https://progruen.uni-hohenheim.de/forschungsprojekte/#jfmulticontent_c552758-1
- https://progruen.uni-hohenheim.de/forschungsprojekte/#jfmulticontent_c552758-4
- https://www.uni-hohenheim.de/pressemitteilung?tx_ttnews%5Btt_news%5D=57092&cHash=7e391b5d43c927538bda8327de095a16
- <https://www.youtube.com/watch?v=WXmCZpEKP4w>

4. Restbiomassen (Insektenbioraffinerie)

- <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/iwks-abteilungen/Biooekonomie/INFeed.html>
- <https://www.hessenschau.de/wirtschaft/darum-hat-die-uni-in-giessen-jetzt-eine-garnelenfarm-v1,nachhaltige-garnelenzucht-100.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/inbira-insektenbioraffinerie.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2022/inbira-mit-insekten-zu-kreislaufwirtschaft.html>

5. Holzige Reststoffe (Lignocellulose-Bioraffinerie)

- Kamm et al. (2012): Biorefineries – Industrial Processes and Products, DOI: 10.1002/14356007.104_101
- <https://www.cbp.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/lignocellulose-bioraffinerie.html>
- Michels et al. (2024): Abschlussbericht „Lignocellulose-Bioraffinerie“ - Aufschluss lignocellulosehaltiger Rohstoffe und vollständige stoffliche Nutzung der Komponenten (Phase 2) (S.164)
- <https://www.cbp.fraunhofer.de/de/leistungsangebot/rohstoffaufbereitung/lignocellulose-bioraffinerie.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/industrielle-biotechnologie/bioprozessentwicklung/Referenzprojekte/lignocellulose-bioraffinerie.html>
- <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/industrielle-biotechnologie/bioprozessentwicklung/aufbereitung-von-nachwachsenden-rohstoffen-und-abfallstoffen/aufschluss-von-lignocellulose.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=WXmCZpEKP4w>

5 Literaturverzeichnis

Abfallwirtschaftsplan Hessen (2021): Siedlungsabfälle und Industrielle Abfälle.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2018): Umgang mit Bodenaushub - LfU Bayern. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/boden/umgang_mit_bodenaushub/index.htm, zuletzt geprüft am 14.08.2023.

Bundesamt für Justiz (2001): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV). Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/avv/index.html#BJNR337910001BJNE000102377>.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Online verfügbar unter https://www.foerderinfo.bund.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/30570_Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Bundesministerium für Bildung und Forschung & Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/31576_Nationale_Biooekonomiestrategie_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2020): Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm>.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2008): Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Online verfügbar unter BMUV: Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien | Gesetze und Verordnungen.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2020): Eckpunkte der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/abfallpolitik/uebersicht-kreislaufwirtschaftsgesetz/eckpunkte-der-novellierung-des-kreislaufwirtschaftsgesetzes-krwg>.

Deutsche Emissionshandelsstelle (2017): Nationalen Emissionshandel verstehen. Online verfügbar unter https://www.dehst.de/DE/Nationaler-Emissionshandel/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_node.html.

Die Bundesregierung (Hg.) (2020): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Weiterentwicklung 2021. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>.

Die Bundesregierung (2023): Ausbau erneuerbarer Energien massiv beschleunigen. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972>.

Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Rhein-Pfalz-Kreis (Hg.): Abfallmengenbilanz 2021 des Rhein-Pfalz-Kreises.

Ekardt, F., Stubenrauch, J., Garske, B., Heß, F. (2021): Bioökonomie-Gesetzgebung: Steuerungsoptionen auf europäischer und nationaler Ebene.

Europäische Kommission (2020): Investitionsplan für ein zukunftsfähiges Europa Investitionsplan für den europäischen Grünen Deal. Online verfügbar unter eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0021.

Europäische Kommission (2021): Kommission legt Plan für Null-Schadstoff-Ziel bis 2050 vor. Online verfügbar unter https://germany.representation.ec.europa.eu/news/kommission-legt-plan-fur-null-schadstoff-ziel-bis-2050-vor-2021-05-12_de.

- Europäische Kommission (2023a): EU taxonomy for sustainable activities. Online verfügbar unter https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en.
- Europäische Kommission (2023b): Renewable Energy Directive. Online verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.
- Europäischer Rat & Rat der Europäischen Union (2023a): Biodiversität: So schützt die EU die Natur. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/biodiversity/>.
- Europäischer Rat & Rat der Europäischen Union (2023b): Ein europäischer Grüner Deal. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/>.
- Europäischer Rat & Rat der Europäischen Union (2023c): „Fit für 55“. Online verfügbar unter „Fit für 55“ – Der EU-Plan für den grünen Wandel - Consilium (euro-pa.eu).
- Fraunhofer IGB (2023): InBiRa – Die Insektenbioraffinerie: Von der Verwertung organischer Reststoffe und Abfälle bis hin zur Herstellung von Produkten. Online verfügbar unter <https://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/inbira-insektenbioraffinerie.html>, zuletzt geprüft am 14.08.2023.
- Griestop, L. & Graf, P. (2019): Die neue EU-Bioökonomie-Strategie. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/themen/dossiers/die-neue-eu-biooekonomie-strategie>.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025. Online verfügbar unter https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-06/integrierter_klimaschutzplan.pdf.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2022): Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2021.
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie und Verkehr (2016): Bioökonomie in Hessen – Positionen. Nachhaltiges Wirtschaften mit wissenschaftlicher Bioökonomie. Online verfügbar unter https://www.technologieland-hessen.de/mm/Positionspapier_DIN_A4_print.pdf.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2022): Nachhaltigkeitsstrategie Hessen Ziele und Indikatoren. Online verfügbar unter https://www.hessen-nachhaltig.de/files/content/downloads/ziele_und_indikatoren/Fortschrittsbericht_Hessen_nachhaltig_2022.pdf.
- IHK Pfalz (Hg.) (2023): Infrastruktur und Digitale Wirtschaft Metropolregion Rhein-Neckar (MRN). Online verfügbar unter <https://www.ihk.de/pfalz/infrastruktur-und-digitale-wirtschaft/kooperationen/metropolregion-rhein-neckar>, zuletzt geprüft am 26.09.2023.
- Kaltschmitt (2016): Energie aus Biomasse. 3. Aufl.: Springer. Online verfügbar unter https://www.google.de/books/edition/Energie_aus_Biomasse/etS9CwAAQBAJ?hl=de&gbpv=1&dq=theoretischen,+technischen+und+%C3%B6konomischen+Potenzials&pg=PA12&printsec=frontcover, zuletzt geprüft am 14.08.2023.
- Landesregierung Hessen (2023): Hessisches Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Hessisches Klimagesetz – HKlimaG). Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen, 79(3), 42-44. Online verfügbar unter <https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2023-02/klimagesetz.pdf>.
- Meyer, R., & Priefer, C. (2018): Bioökonomie in Baden-Württemberg. Systemanalytische Betrachtungen zu den Zielen, Visionen, Wirkungszusammenhängen und Umsetzungsschritten bezogen auf die drei Nutzungspfade Biogas, Lignozellulose und Mikroalgen. Endbericht Projektergebnisse. Karlsruhe.
- Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (2020): Gesetzesnovelle zur Stärkung der Biodiversität. Online verfügbar unter <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/biodiversitaet-und-landnutzung/biodiversitaetsgesetz/>.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt (2023): Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2021.

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2018): Die Vielfalt der Natur bewahren - Biodiversitätsstrategie für Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter https://aktion-gruen.de/wp-content/uploads/2018/07/biodiversitaetsstrategie_aktion-gruen.pdf.

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2020): Klimaschutzkonzept des Landes Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Service/Publikationen/Klimaschutzkonzept_RLP_Massnahmen.pdf Online verfügbar unter https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Service/Publikationen/Klimaschutzkonzept_RLP_Massnahmen.pdf.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021): Abfallbilanz Baden-Württemberg. Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft. Online verfügbar unter www.um.baden-wuerttemberg.de.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023a): Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-bw/klimaschutz-und-klimawandelanpassungsgesetz-baden-wuerttemberg>.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023b): Kommunale Bioökonomie – Bioökonomiestrategien für urbane Räume. Online verfügbar unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-wirtschaft/biooekonomie/kommunale-biooekonomie>.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg & Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (Hg.) (2019): Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Biooekonomie/Landesstrategie-Nachhaltige-Biooekonomie-barrierefrei.pdf.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg & Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (2016): Landesstrategie Ressourceneffizienz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/160301_Landesstrategie_Ressourceneffizienz.pdf.

Rheinland-Pfalz: Landesgesetz zur Förderung des Klimaschutzes (Landesklimaschutzgesetz - LKSG-). Online verfügbar unter <https://landesrecht.rlp.de/bsrp/document/jlr-KlimaSchGRppIVZ>.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022): Kommunales Abfallaufkommen in Baden-Württemberg 2021.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hg.) (2023): Pressemitteilung 296/2022: Rund 15 Kilogramm Klärschlamm-Trockenmasse je Einwohnerin und Einwohner. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022296>, zuletzt geprüft am 26.09.2023.

Umweltbundesamt (Hg.) (2020): Nachhaltige Ressourcennutzung - Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung. Unter Mitarbeit von Möller, M., López, V., Prieß, R., Schleicher, T., Hünecke, K., Hennenberg, K., Wolff, F., Kiresiewa, Z, Hasenehit, M., Schröder, P. & Gesang, B. Öko-Institut e. V. i. A. des Umweltbundesamts (UBA) (Texte, 181/2020). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-ressourcennutzung-anforderungen-biooekonomie>.

Umweltbundesamt (2022): Der Europäische Emissionshandel. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>.

Verordnung der Bundesregierung - Verordnung zur Änderung der Ersatzbaustoffverordnung und der Brennstoffwechsel-Gasmangellage-Verordnung.

Wydra, S., Daimer, S., Hüsing, B., Köhler, J., Schwarz, A., Voglhuber-Slavinsky, A., Heyen, N., Lindner, R., Schirrmeyer, E. & Seus, S. (2020): Transformationspfade zur Bioökonomie.

Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB): Biomasse - Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße. Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB). Online verfügbar unter <https://www.zakb.de/erneuerbare-energien/biomasse/>, zuletzt geprüft am 14.08.2023.