

UFZ Discussion Papers

Department Stadt- und Umweltsoziologie

1/2025

Bisher mehr Hürden als Chancen für bio-CDR: Berichte aus Stakeholder-Workshops zu biomassebasiertem Carbon Dioxide Removal (CDR)

*Nils Matzner, Danny Otto, Christine Polzin, Jennifer Hauck, Johannes Förster,
Ronja Wollnik, Daniela Siedschlag, Daniela Thrän*

April 2025

Bisher mehr Hürden als Chancen für bioCDR

Berichte aus Stakeholder-Workshops zu biomassebasiertem Carbon Dioxide Removal (CDR)

Nils Matzner, Danny Otto, Christine Polzin, Jennifer Hauck, Johannes Förster, Ronja Wollnik, Daniela Siedschlag, Daniela Thrän

Abstract

„Wie werden verschiedene Verfahren zur Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre von Stakeholdern in unterschiedlichen Regionen Deutschlands wahrgenommen?“ Dieser Frage sind Workshops des Projektes „BioNET - Multi-stage assessment of biobased negative emission technologies“¹ nachgegangen, um Potenziale und Herausforderungen biomassebasierter Carbon Dioxide Removal (bioCDR)-Technologien besser zu verstehen. In vier Stakeholder-Workshops wurden Expert*innen aus Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, NGOs und Politik einbezogen, um bioCDR Maßnahmen, deren regionale Besonderheiten und gesellschaftlich-politisches Vertrauen zu diskutieren. Die Ergebnisse zeigen, dass bioCDR-Technologien wie Aufforstung, Pyrolyse von Biomasse (PyCCS) und Moor-Wiedervernäsung als vielversprechend angesehen werden, jedoch auf regulatorische, wirtschaftliche und soziale Hürden stoßen. Während regionale Unterschiede in der Umsetzbarkeit bestehen, gibt es wiederkehrende Herausforderungen wie Flächenkonkurrenz, mangelnde politische Unterstützung und Unsicherheiten in der Finanzierung. Besonders betont wurde die Bedeutung von Kaskadennutzung, um die Effizienz von bioCDR zu maximieren. Das entwickelte Planspiel „Carbon Cascadia“ unterstützte die Diskussion über Biomassekaskaden und langfristige CO₂-Speicherung. Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit gezielter Förderinstrumente und eines abgestimmten Politikrahmens, samt Bürger*innenbeteiligung, um bioCDR langfristig zu etablieren. Ohne klare Strategien und gesellschaftliche Einbeziehung besteht das Risiko, dass Potenziale dieser Technologien ungenutzt bleiben. Der Bericht liefert wertvolle Einblicke für Forschung, Politik und Praxis zur Weiterentwicklung von bioCDR in Deutschland.

Schlagwörter: Biomasse, Klimapolitik, Stakeholder, Carbon Dioxide Removal, Negative Emissionen

1 Einleitung: BioCDR als zu wenig erforschtes Klimathema

Der Klimawandel verschärft sich stetig, während die internationalen Bemühungen zur Reduzierung der Emissionen nicht ausreichen (IPCC 2022). Ein zunehmend diskutiertes Mittel zur Reduzierung der Emissionen ist CO₂-Entnahme – auch Negative Emissionen oder Carbon Dioxide Removal (CDR) genannt (Überblick in Smith et al. 2024). Diese Methoden entziehen der Atmosphäre CO₂ auf vielseitige Art und Weise. Hierzu zählen Aufforstung und Ozeandüngung ebenso wie maschinelle CO₂-Sequestrierung (DACCS) oder Biomasse-Energie mit Carbon Capture and Storage (BECCS). Ein großer Anteil dieser Maßnahmen basiert auf Biomasse aus unter anderem Holz, Landwirtschaftserzeugnissen, Reststoffen und Abfällen (Borchers et al. 2024a). Biomassebasiertes CDR (bioCDR) hat den großen Vorteil, dass es nachwachsende Rohstoffe oder nicht benötigte Reststoffe nutzt, um der Atmosphäre CO₂ zu entziehen und es langfristig zu speichern.

Die klimapolitischen Maßnahmen um bioCDR werden auch in einer Bundesregierung 2025-2029 bedeutsam sein, da Klimaziele einzuhalten und industrielle Interessen auf europäischer und nationaler Ebene an der Abscheidung und Speicherung von CO₂ (engl. Carbon Capture and Storage, CCS) zu verhandeln sind. Wichtige Themen, wie die Verwendung von vielversprechendem, aber voraussetzungsreichem BECCS in

¹ Siehe Online-Präsenz des Projektes und der CDR-Methoden-Steckbriefe: <https://datalab.dbfz.de/bio-net/home?lang=de>

der Deutschen Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) dürfen nicht außer Acht gelassen werden. Einige Forscher*innen argumentieren aktuell, dass es neben einer LNe auch eine „Kurzfriststrategie“ benötigt, da die Implementierung von CDR einen gewissen Vorlauf braucht und nicht erst dann in Betrieb genommen werden kann, wenn es notwendig ist (Schenuit und Treß 2025).

Das Forschungsprojekt „BioNET“ hat ein umfassendes Assessment der sozial-politischen und wissenschaftlich-technischen Aspekte von bioCDR durchgeführt (<https://www.ufz.de/index.php?de=49066>). Neben der Erstellung einer transparenten Wissensbasis mit Fact Sheets (Wollnik et al. 2024) und der Erstellung (Wollnik et al. 2025) und Modellierung von Szenarien (Sadr et al. 2024) der Biomassenutzung für die CO₂-Entnahme, wurden Stakeholder aus Industrie, Land- und Forstwirtschaft, NGOs, Politik und Verwaltung in die Forschung einbezogen (Otto und Matzner 2024). Das Ziel war es, Forstwirt*innen, Pflanzkohleherstellern, Umweltschutzverbänden und anderen Interessensgruppen die aktuelle Forschung näher zu bringen und eine Einschätzung der Akteure zu aktuellen Fragen aus der Praxis von bioCDR-Maßnahmen zu bekommen.

Klimawandel ist eine unhintergebar globale Herausforderung, jedoch findet die Implementierung von Klimaschutzmaßnahmen in regionalen Kontexten statt. Das gilt insbesondere für CDR-Maßnahmen, da viele der möglichen Verfahren bislang kaum regional umgesetzt wurden, jedoch in der internationalen Politik intensiv diskutiert werden. Da die regionale Perspektive zu CDR in Politik und Forschung zu wenig beachtet wird, haben wir einen Schwerpunkt auf die konkrete Umsetzung in Regionen gelegt. Unsere Vorstudien aus Befragung und Interviews haben die Vielschichtigkeit regionaler bioCDR-Implementierung gezeigt. Das Wissen über einige Verfahren, insbesondere über sogenannte „neuartige“ Technologien wie Bioenergie mit CCS (BECCS, Borchers et al. 2024b; Sadr et al. 2024) ist bislang bestenfalls durchschnittlich oder sogar gering ausgeprägt (Otto und Matzner 2024, S. 6). Dennoch wird die Relevanz von bioCDR als hoch, aber das Vertrauen in Politik und Gesellschaft bei der Umsetzung der Klimatechnologien als gering eingestuft (ebd., S. 7-10). Insbesondere in unseren Interviews zeigt sich ein mangelndes Vertrauen in gesamtgesellschaftliche Zielsetzungen zur Klimapolitik (Matzner et al. 2025). Dies führt zu unsicheren Bedingungen für CDR-Investitionen.

Die Workshops erweitern die sozialwissenschaftlichen Ergebnisse des Projektteams, indem sie Stakeholder und ihr Wissen eine wichtige Quelle für Erkenntnisse über den Stand von CDR in Deutschland einbeziehen. Die Stakeholder sind, wie wir im Folgenden berichten, äußerst divers. Mit dem Thema CDR oder ‚Negative Emissionen‘ beschäftigen sich u.a. Agrarökonom*innen, Flächenplanungämter, Moorschützer*innen und sogar Fußballclubs, die ihren hohen CO₂-Ausstoß von Auswärtsspielen kompensieren wollen. Unsere Stakeholder Workshops fanden im Austausch mit Aktivitäten des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Forschungsprogramms CDRterra statt (El Zohbi et al. 2024), in dem reflektiert wurde, dass beispielsweise einige Stakeholder mit dem Thema CDR immer noch große Berührungspunkte haben.

Im Folgenden präsentieren wir die vier Stakeholder-Workshops von BioNET aus den Jahren 2023–2024 im Detail. Diese Darstellung richtet sich an Forschende, Stakeholder sowie die interessierte Öffentlichkeit. Weitere wissenschaftliche und politikberatende Publikationen des Projekts sind am Ende dieses Beitrags aufgeführt.

2 Überblick zu den Stakeholder-Workshops

BioCDR wird in Deutschland bisher wenig debattiert und wird in der Praxis nur in kleinem Maßstab angewendet, wollte das Projektteam die wichtigen Stakeholder zusammenbringen. Die Workshops sollten Raum geben, die konkreten Herausforderungen und Möglichkeiten der Regionen zu diskutieren. Die Vielfalt an bioCDR-Methoden und der damit assoziierten Stakeholder ergab ein facettenreiches Bild. Gleichzeitig wurde deutlich, wie entscheidend nicht nur technische Details, sondern auch die generelle ‚Stimmungslage‘ zu bioCDR und CO₂-Entnahme im Allgemeinen ist. Im Folgenden beschreiben wir die Workshops und deren Inhalte (Überblick in Tabelle 1).

Die ersten drei Workshops fanden auf regionaler Ebene im Jahr 2023 statt. Sie zielten darauf ab, die Potenziale und Herausforderungen biobasierter Carbon Dioxide Removal (bioCDR) für die Regionen Mecklenburg-Vorpommern, Mitteldeutschland und Rhein-Neckar (Abbildung 1²) zu erkunden und die Wechselwirkungen zwischen diesen Technologien zu analysieren. Darüber hinaus waren Ziele der Workshops (i) die Vermittlung von Erkenntnissen aus unserem Forschungsprojekt an Stakeholder, unter anderem über Technologie-Steckbriefe, (ii) der Austausch zwischen den Stakeholdern und (iii) die Erhebung sozialwissenschaftlicher Daten. Die Diskussionen zur Datenerhebung wurden durch verschiedene Methoden strukturiert, darunter (a) ein Ranking der Technologien entlang ihrer Potenziale für die Region, (b) Diskussionen zu den Herausforderungen und (c) die Erstellung einer Wechselwirkungsmatrix, bei der verschiedene Technologien einander gegenübergestellt wurden.

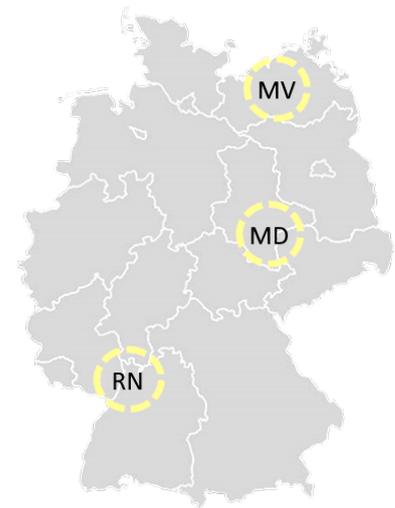


Abbildung 1: Regionen der Workshops Mecklenburg-Vorpommern, Mitteldeutschland und Rhein-Neckar.

Der vierte und abschließende Workshop wurde im Februar 2024 überregional und online durchgeführt. Der Workshop befasste sich mit verschiedenen Aspekten rund um die Entwicklung und Anwendung biobasierter CDR-Verfahren. Ziel war es, regionale Unterschiede in der Nutzung und in den Potenzialen von CDR zu diskutieren sowie die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und mögliche Einsatzszenarien entlang verschiedener Nutzungspfade zu beleuchten. Im Anschluss an eine Diskussion über die Potenziale und regionalen Unterschiede in der CDR-Nutzung kam ein Planspiel zum Einsatz, in dem die Teilnehmenden selbst CDR-Nutzungskaskaden entwickelten. Ziel war es, Potenziale und Schwierigkeiten entlang verschiedener Nutzungspfade zu identifizieren und gemeinsam zu besprechen. Abschließend bot ein Keynote Vortrag vertiefende Einblicke in aktuelle politische und rechtliche Rahmenbedingungen und Entwicklungen.

² Alle Fotos und Abbildungen wurden im Rahmen des Projektes BioNET erstellt. Die Rechte liegen bei den Autor*innen des Artikels.

Tabelle 1: Übersicht zu Stakeholder Workshops.

	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3	Workshop 4
Region	Mitteldeutschland, Präsenz in Leipzig, 2023	Mecklenburg-Vorpommern, online, 2023	Rhein-Neckar, Präsenz in Mannheim, 2023	Überregional, online, 2024
Themen	Potenziale, Herausforderungen und Wechselwirkungen der bioCDR-Maßnahmen für jede Region			Szenarien und Modellierung der Entwicklung von CDR-Methoden Regionale Unterschiede in CDR-Nutzung und -Potenziale aktuelle Rahmung von CDR CDR-Nutzungskaskaden
Ziele	Informationsvermittlung zum Projekt und zu Technologie-Steckbriefen Austausch zwischen Stakeholdern Datenerhebung			Vorstellung von Projektergebnissen Austausch über regionale Unterschiede in CDR-Nutzung und -Potenzialen Vortrag über die aktuelle politische und rechtliche Rahmung von CDR Identifizierung von Potenzialen entlang verschiedener CDR-Nutzungskaskaden
Teilnehmende	7 Teilnehmende aus Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Verbund regionaler Akteure, Infrastruktur und Umweltschutz	5 Teilnehmende aus Industrie, Forstwirtschaft, Umweltschutz & ökologisches Wirtschaften	10 Teilnehmende aus Industrie, Landwirtschaft, Landschaftspflege und Forschung	11 Teilnehmende aus Industrie, Landwirtschaft, Umweltschutz, Regionalentwicklung und Zertifizierung
Elemente	Projektvorstellung Vorstellungsrunde und Erwartungsabfrage Vorstellung von Projektergebnissen Expert*innen-Befragung Plenums- und Gruppendiskussionen (Datenerhebung)			Projektvorstellung Vorstellungsrunde und Erwartungsabfrage Vorstellung von Projektergebnissen Diskussion (Datenerhebung) Planspiel (Datenerhebung) Keynote (Dr. Felix Schenuit, SWP)
Methoden der Datenerhebung	Kleingruppen-diskussion: Ranking der Technologie-Optionen entlang ihrer Potenziale Plenumsdiskussion zu Herausforderungen Wechselwirkungsmatrix (Technologien gegenübergestellt)	Ranking der Technologie-Optionen entlang ihrer Potenziale Plenumsdiskussion zu Potenzialen und Herausforderungen Wechselwirkungsmatrix (Technologien gegenübergestellt)	Kleingruppen-diskussion: Ranking der Technologie-Optionen entlang ihrer Potenziale und Herausforderungen (Wechselwirkungen wurden im Rahmen der allgemeinen Diskussion festgehalten)	Plenumsdiskussion zu regionalen Gemeinsamkeiten und Unterschieden Planspiel zur Identifizierung von Potenzialen entlang verschiedener CDR-Nutzungskaskaden

3 Workshop 1 in Leipzig/Mitteldeutschland

3.1 Potenziale und Herausforderungen der bioCDR-Maßnahmen

Im ersten Workshop wurden von den Teilnehmenden sowohl die Aufforstung als auch die pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS, auch *Biochar Carbon Removal, BCR, genannt*), gefolgt von Agroforstwirtschaft als aussichtsreichste Technologien identifiziert. Zusätzlich argumentierten einzelne Teilnehmende für die Moor-Wiedervernässung und Paludikulturen, die Stilllegung der Waldflächen und die Aufbereitung von Biomethan.



Abbildung 2: Workshop 1 in Leipzig. Präsentation der Zwischenergebnisse aus dem Forschungsprojekt BioNET.

3.1.1 Aufforstung

Stakeholder sahen die Aufforstung mit verschiedenen Baumarten als zentrale und vielversprechende waldbauliche Maßnahme (Abbildung 3). Die Potenziale der Aufforstung bestehen laut Expert*innen der Forschungsprojektes darin, dass diese Methode eine sichtbare, gut vermittelbare, leicht umsetzbare Technologie ist, bei welcher auf bestehende Erfahrungen und Expertise zurückgegriffen werden kann. Im Vergleich zu anderen Maßnahmen ist Aufforstung technologisch weniger aufwendig und wird in vielen Regionen bereits im Rahmen laufender Waldumbauprozesse und als natürliche Klimaschutzmaßnahme umgesetzt. Daher wurde sie als *no-regret*-Maßnahme bezeichnet. In der besseren Einbindung von Kleinwaldbesitzer*innen, welche ihre Flächen oft kaum bewirtschaften, wird viel Potenzial für die Aufforstung bzw. den Waldumbau gesehen. Mit Blick auf die Frage, welche Rolle die Aufforstung in der regionalen Wertschöpfung spielen könnte, haben die Teilnehmenden herausgestellt, dass Aufforstung am Anfang der regionalen Wertschöpfungskette stünde und damit eine essenzielle Grundlage derselben bilde.

Trotz der vielen Vorteile wurden auch einige Herausforderungen bei der Aufforstung deutlich. Beispielsweise wurde darauf hingewiesen, dass ausreichend vorhandenes Pflanzgut eine Voraussetzung für langfristige und gelingende Aufforstung darstelle. Obwohl Saat- und Pflanzgut bundesweit noch ausreichend verfügbar sei, könne die in Mitteldeutschland bereits eintretende Knappheit langfristig zu Problemen führen. Die Aufforstung neuer Waldflächen ist von der Knappheit in besonderem Maße betroffen, da sie gegenüber der aktuell notwendigen Aufforstung bestehender Waldflächen, also der Wiederaufforstung der durch Kalamitäten betroffenen Flächen, zurücktritt. Auch für die langfristige Planung der CO₂-Bindung müssen Kalamitäten als Herausforderung berücksichtigt werden. Eine mögliche Doppelzählung der aufgeforsteten Flächen – zum einen für staatliche Ziele und zum anderen für den Ausgleich des privaten oder betrieblichen CO₂-Fußabdrucks – stellt die Aufforstung als Klimaschutzmaßnahme vor eine weitere Hürde.

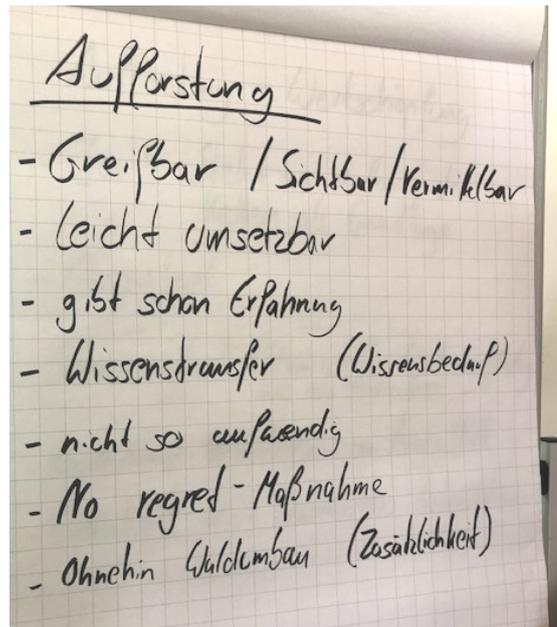


Abbildung 3: Aufforstung als chancenreichste bioCDR-Maßnahme in Workshop 1.

3.1.2 PyCCS/Pflanzenkohle

Die pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS) wurde innerhalb der langlebigen Baumaterialien am höchsten priorisiert. Die Potenziale der Technologie liegen laut Expert*innen darin, dass die Pyrolyse eine gängige Technik sei, zu der bereits wissenschaftliche und technische Erfahrungen in der Region bestünden, wie das Beispiel der Braunkohle zeige. Die Kohlenstoffspeicherung durch PyCCS sei dabei wenig von Umweltfaktoren abhängig und Ziele auf Dauerhaftigkeit ab – zwei weitere Vorteile, die im Workshop benannt wurden. Zudem wurde auf das Potenzial hingewiesen, PyCCS mit bereits bestehenden Nutzungspfaden wie Sperrmüll, Klärschlamm und der Reststoffverwertung zu verknüpfen, um dadurch Synergien durch eine Kaskadenverlängerung und damit tatsächliche Negativemissionen zu ermöglichen. So findet eine Klärschlammaufbereitung in der Region bereits statt. Ebenso könnten auch andere Materialien wie z. B. Sperrmüll für die Pyrolyse nutzbar gemacht werden und nicht mehr nur rein energetisch genutzt werden. Insgesamt wurde darauf hingewiesen, dass PyCCS vielfältig einsetzbar sei und daher großes CO₂-Entnahmepotenzial biete. Gute Umsetzbarkeit und Handhabbarkeit wurden als weitere Argumente aufgeführt.

So könne mit Erdgas einerseits der pflanzliche Feststoff Pflanzenkohle (engl. Biochar), erzeugt und in Kohlelagerstätten gespeichert werden. Gleichzeitig könne ein Wasserstoffnetzwerk für die Region Mitteldeutschland aufgebaut werden. Die Nutzung von Biochar als Bodenzusatz in der Landwirtschaft wurde als herausfordernd beschrieben, da die Anforderungen für die Ausbringung nach geltendem Düngerecht (aufgrund einer möglichen Schwermetallbelastung) schwierig seien. Die Anwendung von PyCCS für Baumaterialien sei demgegenüber einfacher.

3.1.3 Agroforstwirtschaft

Agroforstwirtschaft wurde als Maßnahme mit vielfältigen Potenzialen identifiziert, welche innerhalb der Konzepte zu Landwirtschaft und Böden am höchsten von den Workshop-Teilnehmenden priorisiert wurde. Agroforstsysteme stellten eine sympathische Technologie dar, die grundsätzlich einfach und zeitlich variabel umzusetzen sei. Jenseits des Klimaschutzes ermögliche die Agroforstwirtschaft auch vielfältigen Nutzen (Co-Benefits) im Hinblick auf höhere Biodiversität, die Verbesserung der Böden sowie der

Landschaftsstruktur. Auch sei in der Landwirtschaft eine Kombination von Agroforstsystemen mit Biomassenutzung (z.B. in Form von Biogasanlagen) gut möglich. Mit Blick auf die regionale Wertschöpfungskette könnte die Agroforstwirtschaft gut für die energetische Versorgung der Region genutzt werden und, aufgrund ihrer vielfältigen Anbau- und Verwertungsmöglichkeiten, eine wichtige Rolle für die regionale Wertschöpfung spielen. Darüber hinaus bestünden mit Kurzumtriebsplantagen (KUP)³ Praxisbeispiele von Agroforstsystemen, die sich in den letzten 10 Jahren in der Region bereits etabliert haben. Hierzu wurde ergänzt, dass eine gesetzliche Unterstützung die Umsetzung von Agroforstsystemen erleichtern würde. In puncto Herausforderungen diskutierten die Teilnehmenden u. a. die gesetzlichen Vorgaben für EU-Fördermöglichkeiten von Agroforstsystemen. So wurde einerseits angemerkt, dass eine EU-Förderung bisher lediglich allgemein für Greeningflächen⁴, nicht jedoch speziell für Agroforstsysteme gelte. Demgegenüber wurde darauf verwiesen, dass EU-Fördergelder auch auf Co-Benefits abzielten und daher folglich auch eine Förderung für Agroforstsysteme möglich sei. Als Herausforderung wurden die Umbruchzeiten nach wenigen Jahren benannt. Viele Landwirt*innen sehen Hürden bzw. sind im Unklaren darüber, ob und wie eine Umnutzung der Landflächen möglich sei. Ähnlich wie bei den Produkten aus Paludikultur sind Produkte aus Kurzumtriebsplantagen – zumindest ohne Förderung – nicht rentabel. Das könnte sich ändern, wenn strengere Bestimmungen für Dekarbonisierung die Materialien aus erneuerbaren Quellen rentabler machen. Allerdings fehle es insgesamt an Technologieoffenheit und Förderung bzw. liege die politische Aufmerksamkeit auf den Technologien der Wärmepumpen und Solaranlagen.

3.1.4 Moor-Wiedervernässung und Paludikultur

Die Wiedervernässung von Mooren wurde im Workshop nicht priorisiert, aber als relevante Maßnahme benannt, um Emissionen im LULUCF-Sektor (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) zu vermeiden. In Mitteldeutschland, insbesondere in Sachsen-Anhalt, spiele die Wiedervernässung eine wichtige Rolle. So sind dort aktuell 80.000-100.000 ha Moorböden trockengelegt und emittieren Treibhausgase – gleichzeitig fehle es bei vielen Akteur*innen am Themenbewusstsein. Eine Möglichkeit der Attraktivitätssteigerung von Wiedervernässung sei die doppelte Flächennutzung – sowohl für die Landwirtschaft, als auch für Agri-Photovoltaik-Anlagen.

3.1.5 Dauerhafte und temporäre Stilllegung von Waldflächen

Diese Maßnahme wurde von den Teilnehmenden nicht priorisiert, da die Stilllegung von Waldflächen je nach Baumart mit Schwierigkeiten verbunden sei und ein klimaangepasstes Management verhindere. Bei der Stilllegung von Buchenwäldern könnte über einen längeren Zeitraum zwar Kohlenstoff gespeichert werden, welcher jedoch als Emission wieder freigesetzt würde, sobald die Buche aufgrund von Klimaveränderungen oder klimabedingter Trockenheit abstirbt. Ein gezieltes, klimaangepasstes Forstmanagement durch die Einbringung verschiedener Baumarten sei bei einer Stilllegung nicht möglich.

3.1.6 Aufbereitung von Biomethan

Die Aufbereitung von Biomethan wurde als mögliche, ergänzende Maßnahme kurz diskutiert, um das Stromnetz zu entlasten und Gas für die Verstromung bereitzustellen.

³ Auf Kurzumtriebsplantagen werden schnell wachsende und ausschlagfähige Gehölze gepflanzt, wie z.B. Weide und Pappel. KUP und KUP-Streifen werden aufgrund der häufigen Nutzung der Gehölze als Energieträger auch als Energiewald bezeichnet. Auch eine Nutzung als Agrarfläche ist möglich („Agrarholz“) (siehe z.B. <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/nachhaltiges-wirtschaften/biooekonomie/biomasse/kup.html>).

⁴ Um die Agrarförderung der Europäischen Union im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik in Anspruch nehmen zu können, müssen in Betrieben mit mehr als 15 ha Ackerfläche auf 5% der betrieblichen Ackerfläche ökologische Vorrangfläche (ÖVF) bzw. Greeningflächen geschaffen werden.

3.2 Wechselwirkungen zwischen bioCDR-Maßnahmen

Im Hinblick auf Wechselwirkungen waren Flächenkonkurrenzen ein wiederkehrendes Thema, beispielsweise im Zusammenhang mit der Notwendigkeit einer stetig zunehmenden Aufforstung, um Negative Emissionen zu erreichen (Abbildung 4). Die Aufforstung konkurriert neben der Landwirtschaft auch mit erneuerbaren Energien wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen um Nutzungsflächen. Die Flächenkonkurrenzen werden in Zukunft vermutlich ansteigen, da die Dekarbonisierung des Energiesektors nachwachsende Rohstoffe erfordert, die aus der Landwirtschaft kommen. Positive Wechselwirkungen werden bei Nutzungskaskaden gesehen, bei denen mit Paludikultur Biomasse für PyCCS bereitgestellt wird. Die Qualitätsanforderungen an Materialien sind von Seiten der Industrie jedoch hoch. Ebenso wurden Kaskadennutzungen zwischen Aufforstungen und biogener Vergasung und PyCCS als positiv aufgeführt: Gas wird genutzt, natürliche Methanemissionen werden vermieden und der Atmosphäre wird Kohlenstoff entzogen. In Wechselwirkungen von Aufforstung und Agroforstsystemen minimiere eine höhere Baumartenvielfalt die Risikofolgen durch Kalamitäten. Im Rahmen der Aufforstung können, im Schutz der Agroforstpraktik „Birkenvorwald“, zunächst kleine Pflanzen und Setzlinge von Birken heranwachsen. Bei der energetischen Nutzung von Kurzumtriebsplantagen muss bedacht werden, dass der hohe Rindenanteil zu einer Qualitätsminderung der Baumaterialien führen kann. Durch die Produktähnlichkeit können Agroforstwirtschaft und Aufforstung auch miteinander konkurrieren. Der Absatz von Industrieholz aus Wäldern könnte sinken, da es zum Ersatz durch Holz aus den Agroforstwirtschaftssystemen kommen kann. Für die Forstwirtschaft ist der schlechte Holzmarkt nicht positiv.

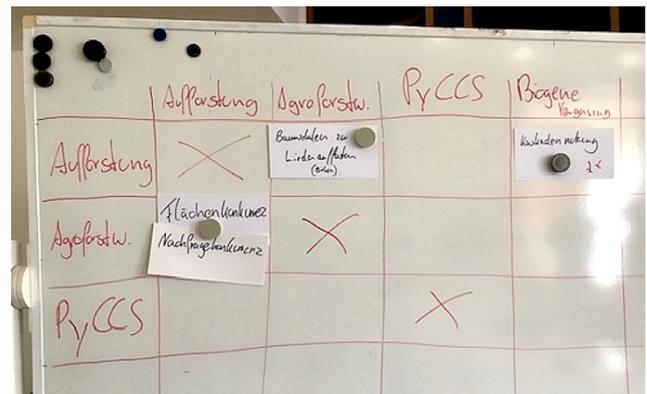


Abbildung 4: Wechselwirkungen der ausgewählten bioCDR-Maßnahmen.

4 Workshop 2 in Mecklenburg-Vorpommern (online)

4.1 Potenziale und Herausforderungen der bioCDR-Maßnahmen

Im zweiten Workshop wurden von den Teilnehmenden die Wiedervernässung von Mooren und Paludikultur als aussichtsreichste Technologien ausgewählt, gefolgt von Aufforstung mit verschiedenen Baumarten und der Umwandlung von Ackerland in Dauergrünland sowie Pflanzenkohle als Bodenzusatz (Online-Ranking in Abbildung 5).

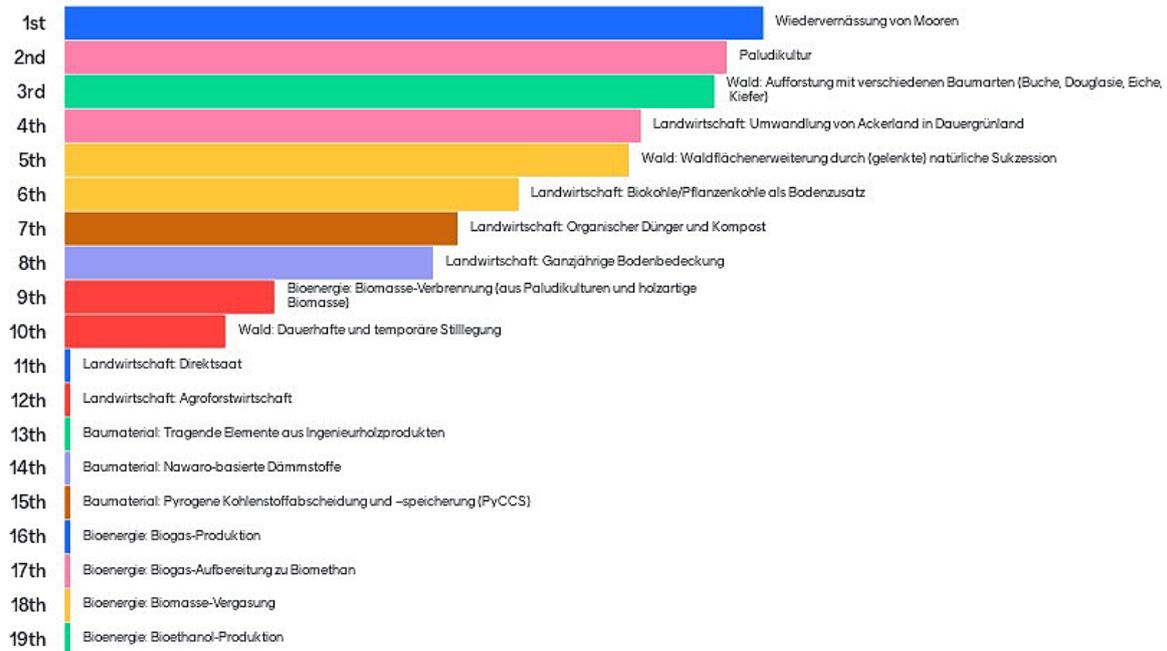


Abbildung 5: Online-Ranking vielversprechender Technologien für Mecklenburg-Vorpommern.

4.1.1 Moor-Wiedervernässung und Paludikultur

Potenziale der Moor-Wiedervernässung und Paludikultur bestehen im Vermeidungs- und Entnahmepotenzial von CO₂, in möglichen Kaskadennutzungen, in Synergien zwischen beiden Technologien und in der Ermöglichung neuer Wertschöpfungsketten. Die Paludikultur kann ermöglichen, wiedervernässte landwirtschaftliche Flächen weiterhin zu bewirtschaften und unterschiedliche Wertschöpfungsformen (wie eine energetische Nutzung oder die Produktion von Dämmmaterial) zu bieten. Zentrale Herausforderungen bestehen hinsichtlich der Eigentums- und Planungsfragen von Wiedervernässungsmaßnahmen.

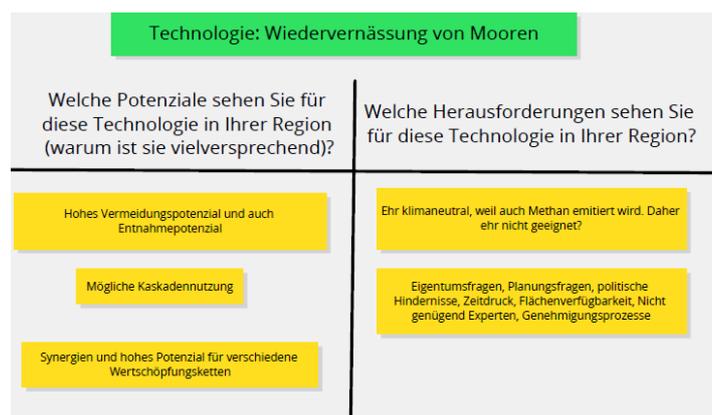


Abbildung 6: Potenziale und Herausforderungen für Wiedervernässung.

Darunter fallen die Übersicht über die Flächenverfügbarkeit, der Austausch mit Eigentümer*innen, die Genehmigungsprozesse sowie die Flächenerschließung. Hier mangelt es an Expert*innen, mit welchen diese Planungsschritte durchlaufen werden könnten. Ebenfalls bedarf es für die Wiedervernässung landwirtschaftlicher Flächen, deren Nutzbarkeit und Bewirtschaftung durch die Landwirt*innen gewährleistet sein muss. Eine weitere Herausforderung besteht im Henne-Ei-Problem des Upscalings von Paludikultur: Da die Materialien aus Paludikultur

(wie Schilf) noch kaum bekannt sind, herrscht eine geringe Nachfrage und geringe Anzahl an Abnehmer*innen. Eine langfristige Umstellung der landwirtschaftlichen Flächennutzung auf Paludikultur birgt wirtschaftliche Risiken für die Landwirt*innen, denn sie könnten auf dem Produkt sitzen bleiben. Folglich bedarf es eines begleiteten Übergangs bei der Umstellung auf Paludikultur, passender Maschinen und der Entwicklung von Schritten der Hochskalierung. Voraussetzung ist, dass es (mehr) Abnehmer*innen für die Produkte aus Paludikultur gibt. Dazu ist es notwendig, dass der Bekanntheitsgrad für eben jene Produkte erhöht wird, um eine entsprechende Nachfrage zu generieren. Darüber hinaus wurde auch der Punkt diskutiert, inwieweit Wiedervernässungsmaßnahmen aufgrund des emittierten Methans nicht eher als klimaneutral zu werten seien.

4.1.2 Aufforstung

Wichtige Potenziale von Aufforstung mit unterschiedlichen Baumarten sind zum einen die bereits existierende Wertschöpfungskette sowie die wachsende Nachfrage nach Holzprodukten. Auch die Perspektive, dass Wälder sowie die Nutzung von Holz als langlebiges Baumaterial (Beispiel Kirchendachstühle) eine langfristige, jahrhundertelange CO₂-Speicherung ermöglichen, wurde als großes Potenzial der Aufforstung hervorgehoben. Es wurden jedoch auch mehrere Herausforderungen aufgeführt. Da jede aufgeforstete Fläche nur einmal anrechenbar ist, muss berücksichtigt werden, ob es sich bei einer Aufforstungsmaßnahme entweder um eine Erst- oder eine Wiederaufforstung handelt, da folglich nur erstere eine Negativemissionstechnologie darstellt. Auch kann bei einer Umwandlung von Monokultur (Nadelreinbestände) in Mischwälder die gespeicherte CO₂-Menge geringer ausfallen. Ein weiterer limitierender Faktor stellt die Flächenverfügbarkeit dar, die das Potenzial der Aufforstung z. B. in Mecklenburg-Vorpommern (MV) klar begrenzt. So sind 24 % der Landesfläche in MV Wald, lediglich weitere 6 % (ca. 140.000 ha) könnten demnach potenziell noch aufgeforstet werden, um auf den Bundesdurchschnitt von 30 % zu kommen. Darüber hinaus bestehen Risiken im Hinblick auf Waldbrände und andere Kalamitäten, durch die das gespeicherte CO₂ schnell wieder freigesetzt werden kann. Letztendlich wurde herausgestellt, dass eine Kaskadennutzung von Aufforstung und PyCCS zwar vielversprechend sei, jedoch mehrere Jahrzehnte des Wachstums benötigt. Mit Aufforstung lassen sich folglich keine schnellen Erfolge erzielen, was mit Blick auf die zu erreichenden Klimaziele zeitlich problematisch ist.

4.1.3 Ackerumwandlung in Dauergrünland

Die Ackerumwandlung in Dauergrünland und die Pflanzenkohle als Bodenzusatz wurden als weitere, wichtige bioCDR-Konzepte diskutiert. Potenziale der Ackerumwandlung in Dauergrünland wurden maßgeblich in der Kohlenstoffspeicherung durch Humusaufbau im Boden gesehen, die unter Dauergrünland im Vergleich zur Ackernutzung höher ausfällt: So kann durch einen weltweiten Humusaufbau um 1 % bereits das globale CO₂-Speicherpotenzial erreicht werden. Im Vergleich zur Pflanzenkohle, für deren Herstellung Pflanzen erst verbrannt werden müssen, lässt sich durch den Humusaufbau dauerhaft mehr Kohlenstoff im Boden speichern. Auch für den Naturschutz bietet die Dauergrünlandnutzung viele Vorteile. Herausforderungen der Ackerumwandlung in Grünland bestehen im Hinblick auf den Wertverlust für die Flächeneigentümer*innen bei einer Umstellung auf Dauergrünland, da dieses weniger wert ist als landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche. Ein weiteres Problem stellt das Dauergrünland-Erhaltungsgesetz dar. Danach muss Grünland alle 5 Jahre umgebrochen werden (zum Beispiel durch Anbau von Mais), um den Status als Ackerland zu erhalten, was wiederum verheerend für die Speicherung von CO₂ wäre.

4.1.4 Pflanzenkohle als Bodenzusatz

Die Potenziale von Pflanzenkohle in der Nutzung als Bodenzusatz werden in ihrem Beitrag zum Aufbau von Humus und damit in ihrem hohen und dauerhaften CO₂-Speicherpotenzial gesehen. Pflanzenkohle ermöglicht zudem eine vielfältige Nutzung von Biomasse/-Reststoffströmen (z.B. Klärschlamm), welche bis dato ungenutzt sind oder lediglich verbrannt bzw. für Energiegewinnung genutzt werden. Nicht nur Hölzer, sondern auch viele andere organische Materialien könnten so mittels Pyrolyse zu Pflanzenkohle

umgewandelt werden. Im Gegensatz zur Nutzung von Biomasse für Biokraftstoffe, durch die kein CO₂ aus dem Kreislauf gezogen wird, bietet die Pflanzenkohle den Vorteil, eine tatsächliche Negativemissionstechnologie zu sein. Herausforderungen bei der Nutzung von Pflanzenkohle wurden insbesondere in der Konkurrenz mit anderen Nutzungsmöglichkeiten und der (begrenzten) Biomasseverfügbarkeit gesehen. Hier besteht das Risiko, dass verschiedene Technologien wie die Herstellung von Biokraftstoffen ebenfalls Biomasse verbrauchen und folglich mit der Pflanzenkohle konkurrieren, jedoch nicht zur Speicherung von CO₂ beitragen. Auch die Tatsache, dass Absatzmöglichkeiten für die entstehende Abwärme, etwa in Form von Fernwärmeleitungen, teilweise noch nicht etabliert sind, stellt eine weitere Herausforderung dar. Um die Abwärme an die passenden Abnehmer*innen zu liefern, müssen Anlagen in der Nähe von Standorten der Abnehmer*innen installiert werden. Aufgrund des bestehenden Flächenmangels ist es jedoch schwierig, die dafür benötigten Genehmigungen zu erhalten. Weiterhin besteht das Problem, dass die Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Pflanzenkohle nicht gegeben ist, wenn kein Anschluss an das Fernwärmenetz besteht.

4.2 Wechselwirkungen zwischen bioCDR-Maßnahmen



Abbildung 7: Concept Board zu Wechselwirkungen zwischen bioCDR-Maßnahmen.

Innerhalb des Workshops wurden die Wechselwirkungen zwischen waldbaulichen Maßnahmen und Moor-Wiedervernässung und Paludikultur diskutiert: Als positive Wechselwirkung wurde der Bestandsumbau von Nadel- in Laubwälder aufgeführt, durch den eine bessere Grundwasserspeicherung ermöglicht werde. Ein Nachteil sei die Wasserkonkurrenz durch eine Erstaufforstung in Nähe eines Moores. Negative Wechselwirkungen zwischen der Moor-Wiedervernässung und allen Technologien aus der Kategorie Landwirtschaft und Böden wurden vorrangig hinsichtlich der Flächenkonkurrenz auf organischen und mineralischen Böden gesehen. Es bedarf einer Übereinkunft bezüglich der priorisierten Flächennutzung und der Instrumente der Umsetzung. Dabei wurde auch die Frage gestellt, ob es jenseits monetärer „Stellschrauben“ noch andere Möglichkeiten für eine Priorisierung geben kann. Beispielsweise wurde darauf hingewiesen, dass in der Auseinandersetzung mit diesen Technologien die Biodiversitätskrise auch thematisiert werden müsse und nicht ausschließlich der gebotene Klimaschutz - etwa beim Beispiel der Beweidung und Arterhaltung. Im Rahmen des Aktionsprogramms „Natürlicher Klimaschutz (ANK)“ wären diesbezügliche Synergien möglich. Die Wechselwirkungen zwischen der Moor-Wiedervernässung, der Paludikultur und den langlebigen Baumaterialien wurden klar positiv eingeordnet, da sowohl Rohstoffvorkommen als auch die Wertschöpfung durch die Kombination dieser Technologien stark erhöht werden. Damit das Potenzial zwischen Paludikultur und nachhaltigen Baustoffen genutzt werden könnte, muss jedoch das zuvor beschriebene Henne-Ei-Problem gelöst werden.

5 Workshop 3 in Mannheim/Region Rhein-Neckar

5.1 Potenziale und Herausforderungen der bioCDR-Maßnahmen

Im dritten Workshop wurden aus der Baustoff-Kategorie insbesondere den auf nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) basierten Dämmstoffen und tragenden Elementen aus Ingenieurholzprodukten eine hohe regionale Relevanz zudedacht. Auch die ganzjährige Bodenbedeckung und Agroforstwirtschaft wurden als relevant eingestuft. Weniger intensiv wurden am Nachmittag noch folgende Technologien diskutiert: Biogas, langlebige Baumaterialien, Bioethanol und gelenkte Sukzession.



Abbildung 8: Workshop 3 in Mannheim. Gespräch mit den BioNET-Expert*innen.

5.1.1 Baustoffe: Auf nachwachsenden Rohstoffen basierte Dämmstoffe

Für NawaRo-basierte Dämmstoffe wurden eine ganze Reihe von Potenzialen gefunden, wie z. B. die Abfallvermeidung, da diese leichter entsorgt werden können als herkömmliche Baustoffe. Vor allem gegenüber chemischen Dämmstoffen bieten NawaRo-basierte Dämmstoffe wirkliche Vorteile bei der Entsorgung. Darüber hinaus ergibt sich ein Synergieeffekt bei der Nutzung: Energieeinsparung bei gleichzeitig langfristiger Kohlenstoffspeicherung. In der Bauwirtschaft gibt es viele Möglichkeiten mit diesen Ersatzprodukten zu arbeiten und je nach Rohstoff ergeben sich weitere Einnahmequellen durch die Kaskadennutzung der Reststoffe. So können durch Pilze weitere Produkte geschaffen werden. Auch in der Resteverwertung wurden bei der Stromerzeugung Potenziale gesehen. Eine zentrale Herausforderung wird in der Rohstoffbereitstellung gesehen. Holzabfallstoffe und Zellulose müssen hergestellt und die lokale Holzbereitstellung gesichert werden. Für die Region könnten Zelloschäume aus Buche interessant sein, da es große Buchenbestände gibt, allerdings fehlen Hersteller und Zulieferer, wodurch die Logistik eine Hürde stellt. Die Flächenkonkurrenzen, die Langlebigkeit und Qualität der Materialien ergeben weitere Herausforderungen.



Abbildung 9: Workshop 3 Potenziale und Herausforderungen von vier bioCDR-Maßnahmen.

5.1.2 Baustoffe: Tragende Elemente aus Ingenieurholzprodukten

Die Diskussion zu tragenden Elementen aus Ingenieurholzprodukten war kurz und knapp: Als Potenzial wurde die Einfachheit der Umsetzbarkeit und die sehr gute Eigenschaft als Baumaterial hervorgehoben. Obwohl es sich um einen bewährten Baustoff handelt, ist Regionalität eine Herausforderung, da dieses Produkt in der Region nicht bereitgestellt wird und es deutschlandweit nur sehr wenige Hersteller gibt. Das Produkt muss folglich oft global bezogen werden und weite Wege zurücklegen, wodurch Wartezeiten von mehreren Monaten entstehen. Tragende Holzprodukte haben hohe technische Anforderungen vor allem bei der Statik sowie entsprechende Regulierungen (z. B. Brandschutz).

5.1.3 Landwirtschaft: Ganzjährige Bodenbedeckung

Als Potenziale wurde bei der Bodenbedeckung die Speicherung von Kohlenstoff genannt und zusammen mit dem Verdunstungs- sowie dem Erosionsschutz hervorgehoben. Ein weiterer Co-Benefit wird auch im Erhalt oder sogar in der Förderung von Boden-Biodiversität gesehen. Es gäbe auch Synergien mit der Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Zum Workshop-Zeitpunkt wurden Demonstrationsbetriebe gesucht. Um die Potenziale hinsichtlich der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL zu realisieren, ist es wichtig, dass sich auch die Industrie beteiligt. Sie muss die Landwirt*innen informieren, und es muss eine Wertschöpfungskette aufgesetzt werden. Gleichzeitig wurde die tatsächliche Wirksamkeit der Speicherung von Kohlenstoff durch ganzjährige Bodenbedeckung in Frage gestellt. Weitere Herausforderungen sind eine Undurchführbarkeit vieler phytosanitärer Maßnahmen und Konflikte zwischen Pflanzenarten und Feuchtigkeitsverhältnissen. Ganzjährige Bodenbedeckung ist ein weit verbreitetes Konzept, das sich allerdings je nach Bodenart unterschiedlich gut eignet. Zudem herrscht eine große Skepsis bei vielen Landwirten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit. Wie bei allen

Technologien sind Akzeptanzarbeit, Stakeholder-Prozesse und Vermittlung von Wissen und Informationen zentrale Themen. Hier müssen zeitgemäße Kommunikationswege genutzt werden – beispielsweise via YouTube.

5.1.4 Agroforstwirtschaft

Für Agroforstwirtschaft wurden viele Potenziale identifiziert. Dazu gehören: die Diversifizierung von Betrieben, die damit besser auf Marktschwankungen reagieren können, sodass eine Resilienz und Sicherheit in der Wirtschaftlichkeit entstehen, die Vergrößerung der Erdoberfläche durch eine doppelte Nutzung, die Nutzung zur Naherholung und ein positiver Beitrag zum Landschaftsbild. Auch ein Erosions- und Verdunstungsschutz sowie Förderung der Biodiversität wurden genannt. Der Agroforstwirtschaft wird eine gute Anpassungsfähigkeit an den beschleunigten Klimawandel zugesagt. Die Potenziale sind möglicherweise auch noch nicht ausgeschöpft. So haben beispielsweise Pharmafirmen Interesse an phytopharmazeutischen Pflanzen aus heimischer Produktion, die durch Beschattung als neue Kulturen in Frage kommen. So könnte auch die Wertschöpfung aus landwirtschaftlicher Produktion erhöht werden. Für die Agroforstwirtschaft und viele andere Technologien muss die Bereitstellung aller Ökosystemleistungen insgesamt mitbetrachtet und auch (monetär) wertgeschätzt werden.

Herausforderungen werden in den politischen Rahmenbedingungen gesehen, welche die Agroforstwirtschaft noch nicht genügend berücksichtigen. Damit sind vor allem die erhöhten Produktionskosten durch schwierigere Bewirtschaftung und auch die lange Zeit bis zur Etablierung eines Agroforstsystems schwierig auszugleichen. Es können auch Investitionen für neue Maschinen und Gebäude anfallen. In der Region Rhein-Neckar, wo Landwirtschaft oft im Nebenerwerb realisiert wird, ist dies ein ernstzunehmendes Hindernis für neue Bewirtschaftungsformen. In der Region gibt es einen Maschinenring, bei dem Landwirt*innen Maschinen ausleihen können. An dieser und vielen anderen Stellen fehlt allerdings die (politische) Unterstützung, um solche Systeme effizient zu etablieren. Ein weiteres regionales Hindernis ist die Flächengröße. Schläge in der Region sind eher kleiner bemessen, wodurch es schwierig ist, Zusatzstrukturen auf die Fläche zu bringen. Insgesamt ist die Produktionskette sowie die Akzeptanz in den Lieferketten auszubauen. Es bestehen Bedenken hinsichtlich einer Verdrängung bestimmter Tierarten oder der Nahrungsmittelproduktion insgesamt durch die Produktion von NawaRos. Streuobst ist zwar offiziell auch Agroforstwirtschaft, wurde aber für die Region als wirtschaftlich unattraktiv diskutiert.

5.1.5 Biogas

Potenziale bei Biogas werden in seiner Grundlastfähigkeit für die Energiegewinnung gesehen. Das heißt, dass, unabhängig von Sonnenschein oder Wind konstant Energie geliefert werden kann. Zudem können bestehende Infrastrukturen genutzt werden, und die Nutzung der Abwärme wird ebenfalls als Potenzial hervorgehoben. Auch Regionalität und damit einhergehende regionale Wertschöpfung wurden genannt: So kann der regionale Strom direkt vom Carsharing mit E-Autos oder für die Abwärme im Freibad genutzt werden. Die Kombination von Energieerzeugung aus Abfallverarbeitung könnte ebenfalls ausgebaut werden. So könnte die stoffliche Nutzung von Kartonagen gefördert werden und eine energetische Nutzung am Ende der Kaskade steht. Weitere Möglichkeiten bietet die Abfallnutzung aus der Insektenzucht für die Herstellung von Fetten und Proteinen. Ein Fragezeichen ergibt sich hingegen bei der Effizienz: es ist noch unklar, wie gut das Verhältnis zwischen Energieerträgen und eingesetzten Stoffen und Energien ist. Diese Frage stellt sich vor allem bei Bioabfall, der sehr inhomogen und saisonal variabel ist. Dadurch ist die spezifische Ausbeute geringer und die Anlagen müssen flexibler sein, um inhomogenes Material verwerten zu können. Als weitere Herausforderung wurde die gesellschaftliche Akzeptanz von Biogas genannt. Durch die Teller-Tank-Debatte hat Biogas aus Mais einen schlechten Ruf in der Bevölkerung, obwohl Mais, bei wenig Einsatz von Chemikalien, eigentlich gute Eigenschaften als Energieträger hätte. Auch hier wird als Problem die mangelnde Förderung erwähnt, welche besonders wichtig wäre, um bei hohem Investitionsbedarf an Planungssicherheit zu gewinnen.

5.1.6 Langlebige Baumaterialien

Das Potenzial langlebiger Baumaterialien wird vor allem in der Kreislaufwirtschaft oder sinnvollen Kaskadennutzung gesehen. Nachwachsende Rohstoffe, aber auch Pflanzenkohle sind vielversprechend. Einer vermehrten Nutzung steht jedoch die Lobby der traditionellen Baumaterialienproduzenten (bspw. Zementindustrie) gegenüber. Langlebige Baumaterialien müssten stärker gefördert werden, um sie bei konventionellen Baumaterialien einpreisen zu können, da letztere deutlich geringere Lebenszyklus-Kosten haben.

5.1.7 Gelenkte Sukzession im Waldbau

Neben der Kohlenstoffspeicherung besteht das Potenzial darin, dass Sukzession so gelenkt werden kann, dass artenreiche Lebensräume entstehen. Als Probleme wurden rechtliche Vorgaben genannt, die Beweidung im Wald untersagen. Dadurch ist die gelenkte Sukzession nicht sehr wirtschaftlich. Es müsste ein Rahmen geschaffen werden, in dem man etwas ausprobieren kann.

5.1.8 Bioenergie allgemein

Biomasse bietet eine Alternative zu fossilen Brennstoffen für eine Energieerzeugung mit geringem CO₂-Fußabdruck. Große Potenziale gäbe es, wenn Energieerzeugung und Abfallverarbeitung weiter zusammengebracht werden. Dann wären auch regionaler Strom und Wertschöpfung denkbar. Jedoch wurde Bioenergie mit Abscheidung und Speicherung (BECCS) noch nicht in näherer Zukunft in der Region gesehen. Konkrete Anwendungen von Biogas und Bioethanol (siehe unten) wurden ebenfalls diskutiert.

5.1.9 Bioethanol

Bioethanol ist ein Grundstoff, der fossil-basiertes Ethanol ersetzen kann. Er bietet große Chancen, da bereits bestehende Infrastrukturen genutzt werden können. Wie für viele andere Technologien stellt der Bedarf an Biomasse zur Herstellung von Bioethanol eine große Herausforderung dar. Im Vergleich zu fossilen Treibstoffen ist Biomasse bereits kostenintensiv und wird durch die steigende Nachfrage (und Nutzungskonkurrenz) immer teurer. Ohne Regularien wird sich dies nicht ändern und die Wirtschaftlichkeit von Bioethanol eine Schwierigkeit bleiben.

5.2 Allgemeine Diskussion

Auch in der übergeordneten Debatte zu bioCDR wurden eindeutige Ziele gefordert, aber immer wieder Detailfragen hervorgehoben. Die Richtung einer allgemeineren Bewertung erfordert Kenntnisse darüber, welche Rohstoffe welcher Nutzung am zielführendsten zugeführt werden sollten. Steht die CO₂-Vermeidung im Vordergrund, so hat die Zuckerrübe eine sehr gute Ausgangsbasis. Steht dagegen die Kreislaufwirtschaft mit einer Heterogenität der Landschaft im Vordergrund, so ist ein Wechsel zu anderen Pflanzensorten für die Biogasgewinnung eventuell besser und der Fokus der Nutzung von hochwertigen Stoffen muss auf hochwertigen Produkten (Lebensmittel etc.) liegen. Auch das Thema Zwischenfrüchte, wie etwa Hanf, muss bedacht werden, denn nicht nur der Rohstoff, sondern auch die Bodenverbesserung ist wichtig. Unter Umständen bietet es sich an, das Prinzip des homogenen, planbaren Grundstoffes für die reine CO₂-Abscheidung/Speicherung zu verlassen. In jedem Fall muss darüber nachgedacht werden, wie verschiedene Nutzungen sinnvoll in Kreisläufe eingebunden werden können.

6 Workshop 4 – Überregionaler Syntheseworkshop

6.1 Diskussionen zur Rolle von Regionen bei bioCDR

Die erste Diskussion im vierten Workshop bezog sich auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Regionen, bzw. generell auf die Rolle der Regionen bei der Umsetzung von bioCDR (Abbildung 10). Die Vorstellung von Projektergebnissen wurde von Teilnehmenden positiv aufgenommen, mit einigen kritischen Anmerkungen, wie etwa die Notwendigkeit der Berücksichtigung internationaler Lieferketten trotz



Abbildung 10: Syntheseworkshop über die drei Regionen übergreifend. Teilnehmende anonym.

regionaler Perspektive. Die Antwort auf die Frage, wie wichtig Regionen bei der Umsetzung von biobasierten CDR sind, ist wesentlich an die Frage der Wirtschaftlichkeit gekoppelt. Das heißt, bei den meisten Technologien stellt sich die Frage, ob es wirtschaftlicher ist, Biomasse aus der Region zu nutzen oder sie (aus anderen Bundesländern oder dem europäischen Ausland) zu importieren. Bei der Wirtschaftlichkeit spielen billige Importe eine große Rolle. So sind Holzhackschnitzel aus Polen für Heizkraftwerke oder Holzimporte aus der Ukraine oder Rumänien immer noch günstiger, da viele Regularien wegfallen, die bei der Produktion in Deutschland beachtet werden müssten. Die Preis-Problematik der Biomasseherkunft wird sich in Zukunft noch verschärfen, wenn neue technische Möglichkeiten die Nachfrage steigern, z.B. Pflanzenkohle in der Zementindustrie. Ein weiterer Aspekt der Wirtschaftlichkeit ist, dass für alternative Rohstoffe, die aus der Region kommen könnten, wie beispielsweise Paludikultur, die Lieferketten noch nicht gut etabliert sind. Der Markt ist daher zu undurchschaubar. Für die Betreiber*innen von Heizkraftwerken bleibt damit ein unkalkulierbares Risiko, ob immer ausreichend Rohstoff zur Verfügung steht, wenn sie bei Paludikultur bleiben. Damit fällt die Entscheidung zugunsten der ohnehin günstigeren Importe, da es sich um gut etablierte Rohstoffe handelt, die jederzeit verfügbar sind.

Bei der Wirtschaftlichkeit spielen auch mögliche Absatzmärkte eine Rolle. Biogasanlagen könnten höhere Gewinne erzielen, wenn sie sich ans Gasnetz anschließen könnten. Der Anschluss ist allerdings technisch sehr aufwendig und daher teuer. Viele Netzbetreiber*innen verhindern den Anschluss z. B. über Mindestspeisemengen, die dann für kleine Anlagen unerreichbar sind, und beziehen ihr Gas aus dem europäischen Ausland. Dies erschwert die regionale Umsetzung zusätzlich, auch weil - ähnlich wie bei den Lieferketten – der Markt für Biogas in Deutschland nicht sicher gedeckt ist. Auch hier werden Importe wegen der Konstanz in der Lieferung bevorzugt. Von vielen Teilnehmenden werden Importe kritisch gesehen, vor allem aus ökologischen Gründen, wie der Verschiebung von Umweltproblemen ins Ausland. Beim Transport entstehen große Mengen Emissionen, die in den Kosten noch nicht berücksichtigt werden.

Aber auch Gerechtigkeitsfragen, wie Klimagerechtigkeit oder auch Fragen nach verursachten Nahrungsmittelknappheiten in bestimmten Ländern, sind immer noch aktuell. Andere Teilnehmende widersprechen dem Argument der Flächenkonkurrenz mit dem Verweis, dass viele Anlagen ohnehin mit Reststoffen aus der Nahrungsmittelproduktion laufen und hier eher eine Kaskadennutzung als eine Konkurrenz vorliegt. Auch die Reduzierung der Flächenkonkurrenz durch eine Reduzierung des gesellschaftlichen Fleischkonsums wurde eingebracht. Eine weitere Reduzierung der Flächenkonkurrenz wäre eventuell mit Paludikultur möglich, die wiederum zur Produktion von Pflanzenkohle genutzt werden könnte. Besonders auf Flächen, die nicht anders genutzt werden können, ist eine energetische Nutzung vorstellbar.

Die politische Förderung war ein kontrovers diskutiertes Thema. Einige Teilnehmende plädierten für eine stärkere nationale Regulierung, um die Wirtschaftlichkeit der Produktion regionaler Rohstoffe zu erhalten oder auszubauen. Nur wenn klare politische Entscheidungen für Regionalität, Umweltschutz, Klimagerechtigkeit oder auch CO₂-Vermeidung entlang der gesamten Lieferkette getroffen werden, kann regionale Biomasse mit importierter Biomasse konkurrieren. Verschiedene Optionen wurden für eine Regulierung diskutiert: Eine Möglichkeit, um Regionalität zu stärken, wird in der kommunalen Wärmeversorgung gesehen. Beispielsweise werden durch das Gesetz der kommunalen Wärmeplanung Kommunen angeregt regionale Prozesse zu stärken. Die Energiewende bietet Chancen für Kommunen, die rechtzeitig dabei sind. Kommunen können sich dadurch auf ihrem Pfad der Klimaneutralität positionieren. Sie können Betriebe gezielt anlocken und dadurch Steuereinnahmen erhöhen.

Eine weitere Möglichkeit ist, bei der Berechnung von Negativemissionen die Herkunft der Biomasse anzuschauen, um einschätzen zu können, ob trotz Transport überhaupt noch Negative Emissionen generiert werden. Eine diskutierte Idee war ein CO₂-Aufschlag an der Grenze, um gleiche Wettbewerbsbedingungen für regionale und importierte Biomasse zu schaffen. Allerdings gibt es bei Zertifikaten nicht nur Vorteile – etwaige Landnutzungskonflikte könnten sich verschärfen, ähnlich wie es derzeit bei Agri-Photovoltaik zu beobachten ist, wo Flächen der Lebensmittelproduktion entzogen werden. Auch das Risiko des „Doppel-Claimings“ wurde als Problem genannt, insbesondere wenn immer mehr unterschiedliche Zertifikate auf den Markt kommen.

Vergangene Fördermaßnahmen wurden ebenfalls kritisch reflektiert. Ein Beispiel: Die Subventionen für Bio-LNG im Lkw-Verkehr hatten bislang Importe verhindert – doch mit ihrem Auslaufen rechnet man nun verstärkt mit Biomasse aus dem Ausland.

Nicht alle Teilnehmenden befürworteten weitere politische Eingriffe. Einige argumentierten, es gebe bereits eine Überregulierung. Sie kritisierten etwa den „Maisdeckel“, der die Preise politisch in die Höhe treibe, oder die Abgasvorschrift, die Strohverbrennung als Resteverwertung verhindert.

6.2 Planspiel zu bioCDR-Kaskaden

Die häufige Problematisierung von Biomassekaskaden in den Workshops 1-3 hat das Projektteam dazu veranlasst, stärker über Kaskadennutzung von Biomasse zur CO₂-Entnahme nachzudenken. BioCDR-Kaskaden haben nicht nur den Vorteil Biomasseprodukte und biogenes CO₂ in mehreren Schritten nutzen zu können. Kaskaden sind auch notwendig, um sicherzustellen, dass Biomasse und deren Produkte eine langfristige Speicherung sicherstellen. Beispielsweise entziehen Bäume der Atmosphäre Treibhausgase und speichern sie im Holz. Die Stilllegung des Waldes bewirkt eine Speicherung des Kohlenstoffs im Wald selbst (siehe Abbildung 11), jedoch ist diese gegen Waldbrände nicht sicher. Wird das Holz zu Pflanzenkohle verarbeitet und gelagert oder genutzt, dann ergäbe sich eine längere Kaskade, die jedoch eine langfristige Speicherung von Kohlenstoff begünstigt.

Das Projektteam, insbesondere Danny Otto und Nils Matzner, haben ein Kartenspiel namens „Carbon Cascadia“ zum Mapping von bioCDR-Kaskaden entworfen. Dieses Mapping-Spiel dient dazu, Kaskaden zu legen und sie zu diskutieren. Ziel des Spiels ist es, möglichst effiziente, langfristige, kostengünstige, nachhaltigste Kaskaden zu bilden, die möglicherweise auch noch positive Nebeneffekte, sogenannte Co-Benefits, wie bspw. Energieerzeugung oder Erhalt von Biodiversität, haben (weitere Informationen unter <http://carboncascadia.org/>).

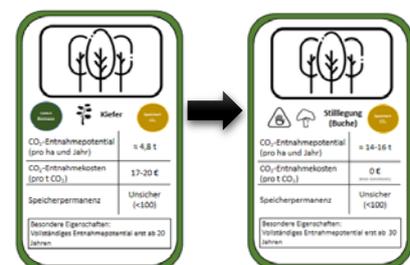


Abbildung 11: Planspiel „Carbon Cascadia“ zu bioCDR-Kaskaden.

Spielkarten, Pfeile zum Verbinden der Karten zu Kaskaden, Marker und Spielplan (oder eine passende Oberfläche) wurden auf Papier produziert und vor dem Workshop-Termin den Teilnehmer*innen zugeschickt. Während des Workshops wurde die Online-Version des Spiels gespielt und gemeinsam ausgewertet.

6.2.1 Gruppe 1 – Fokus auf Holzbiomasse und Nutzungsfragen

Am Anfang der Kaskade aus der ersten Gruppe stand die Aufforstung als Erweiterung des Waldes, wobei es einen Dissens unter den Teilnehmenden gab, welche Baumart zum Einsatz kommen sollte. Wirtschaftliche Potenziale werden bei der Douglasie gesehen, die jedoch als nicht-einheimische Art von anderen Teilnehmenden abgelehnt wurde. Stattdessen wurde die Eiche aufgrund positiver Auswirkungen auf Biodiversität vorgeschlagen. Ein Mischwald könnte allerdings eine Alternative sein, denn er bietet auch noch Co-Benefits, wie seine Eignung als Naherholungsgebiet, und in der Nähe von Städten kann ein Kühlungseffekt im Sommer entstehen. Insgesamt hat die Walderweiterung allerdings den Nachteil, dass Flächenkonkurrenz (beispielsweise mit Ackerböden) steigt.

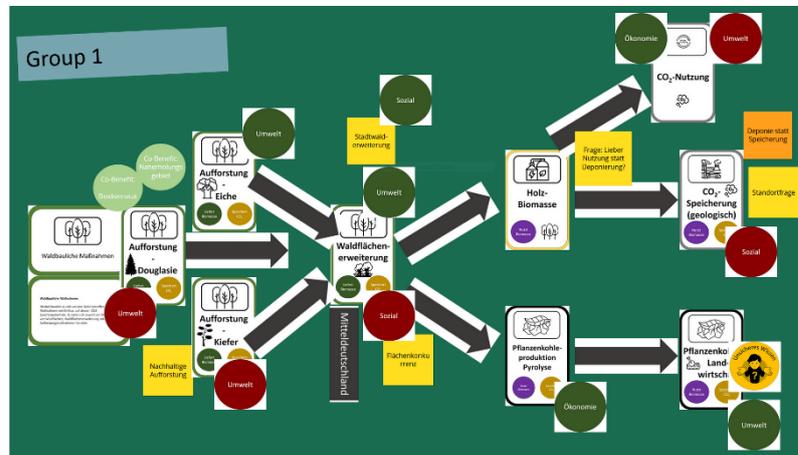


Abbildung 12: Biomassekaskade der Gruppe 1 im Planspiel „Carbon Cascadia“.

In der Kaskade schließen sich zwei Nutzungsmöglichkeiten für das Holz an. Das Holzbiomasse kann zur Stromerzeugung durch Verbrennung genutzt werden. Das dabei entstehende CO₂ kann in der Getränkeindustrie weiter genutzt werden, was im Augenblick eine attraktive Möglichkeit ist. Die CO₂-Nutzung hat einerseits den Nachteil, dass das CO₂ nicht gebunden wird, aber andererseits den Vorteil, dass es die Nutzung von fossilen Stoffen ersetzt (zur Modellierung dieser Nutzungspfade siehe Sadr et al. 2024). Bei der CO₂-Speicherung hatten die Teilnehmenden Bedenken sowohl hinsichtlich der sozialen Akzeptanz als auch möglichen Standorte in Deutschland. Ein*e Teilnehmer*in merkt an, dass es nicht unbedingt ein Entweder/Oder sein muss, sondern eine zeitliche Entwicklung möglich ist. Erst ab 2050 sind Negativemissionen notwendig, und bis dahin ist auch noch die CO₂-Nutzung möglich. Die zweite Nutzungsmöglichkeit für Holz aus der Waldflächenenerweiterung, die in der Gruppe diskutiert wurde, war die Pyrolyse. Hier wurde vor allem der ökonomische Vorteil der Pflanzenkohle gesehen. Durch die gute Verschiffbarkeit kann Pflanzenkohle auch international vermarktet werden. Eine heimische Nutzung, beispielsweise als Pflanzenkohle in der Landwirtschaft, hätte weitere Vorteile, wie die Verbesserung der Wasserhaltung oder den Humusaufbau.

6.2.2 Gruppe 2 – Waldstilllegung und landwirtschaftliche Kreislaufwirtschaft

Regionale Aspekte wurden in Gruppe 2 für eine mögliche Waldflächenerweiterung und Aufforstung in der Rhein-Neckar-Region diskutiert. Einige Flächen aus der Waldflächenerweiterung könnten aufgrund der geographischen Eigenschaften (Relief), z.B. einige Höhenlagen/Hanglagen, langfristig stillgelegt werden, um so ein hohes CO₂-Speicherpotenzial zu realisieren. Wie auch in Gruppe 1 wurde der Naherholungswert von Waldflächenerweiterungen hervorgehoben. Bei der Aufforstung wurden Co-Benefits für die Biodiversität gesehen. Auch wurde erwähnt, dass Aufforstung auf Kalamitätsflächen im Rahmen von Waldumbau den Vorteil hätte, die Flächen in effektivere Nutzungen zu überführen. So könnten nicht nur in der Rhein-Neckar-Region, sondern auch in Sachsen-Anhalt Synergien mit bestehenden Anpassungsnotwendigkeiten geschaffen werden. Das Holz aus den aufgeforsteten Flächen könnte vielen Verwendungen zugeführt werden, wie Holzfaserdämmung KHV/BHS, Ligninschaum oder Parkette. Hier könnten sich als Co-Benefit Substitutionseffekte ergeben und auch eine Lebenszeitverlängerung von Baustoffen und NawaRo-Dämmstoffen durch die energetische Nutzung ist möglich. Insgesamt gibt es hier in den Kaskaden verschiedene Schleifen, die sich wiederholen könnten, und die Kaskaden könnten so angeordnet werden, dass die Stoffe in Kreisläufen geführt werden. Eine Herausforderung bilden die langen Transportwege zu Produktionsstätten. Auch können sich Herausforderungen bei der Nachnutzung ergeben, wie etwa chemische Zusatzstoffe und Qualitäten der Hölzer, die beispielsweise die Verkohlung von Althölzern möglicherweise problematisch machen.

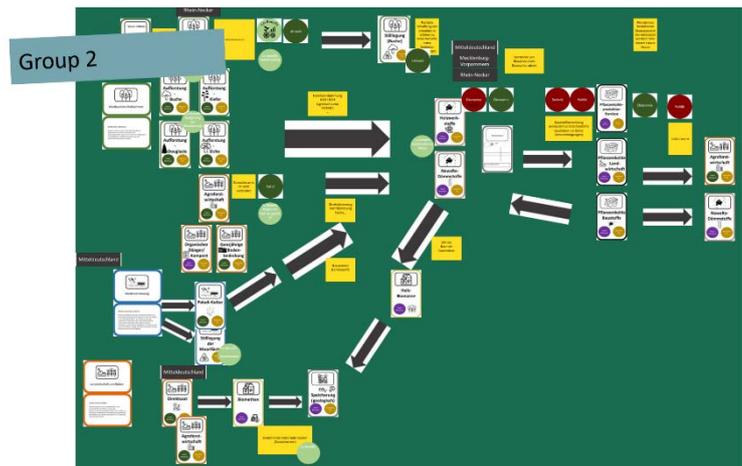


Abbildung 13: Biomassekaskade der Gruppe 2 im Planspiel „Carbon Cascadia“.

6.2.3 Gruppe 3 – Holzbiomasse und Pflanzenkohle

Auch in Gruppe 3 startete die Kaskade mit waldbaulichen Maßnahmen, speziell der Aufforstung. Mischwälder, aus Kiefern und Douglasien, waren hier im Fokus, da diese besser anpassbar sind, aber auch Buche und Fichte sollten eine Rolle spielen. Auch die Stilllegung wurde als Option diskutiert, um Wälder wachsen zu lassen und Naturschutzgesichtspunkte zu berücksichtigen. Allerdings wurde der Nachteil hervorgehoben, dass sich damit kein Geld verdienen lässt. Als Nutzung des Holzes aus der Aufforstung wurden Holzwerkstoffe aufgeführt, obwohl zu bedenken sei, dass Holzwerkstoffe keine CDR-Methode, sondern eine Vermeidungsstrategie, seien. Eine weitere Nutzung wurde in NawaRo-Dämmstoffen gesehen. Diese Nutzung könnte durch Maßnahmen, wie der umweltfreundlichen Beschaffung aus der EU (EU-Green Public Procurement), angekurbelt werden. Auch die Produktion von Pflanzenkohle mittels Pyrolyse durch die

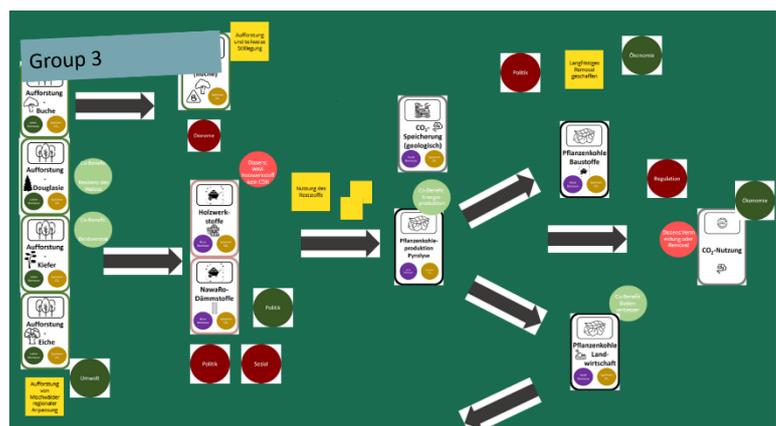


Abbildung 14: Biomassekaskade der Gruppe 3 im Planspiel „Carbon Cascadia“.

Nutzung der Reststoffe, wurde diskutiert, da somit CO₂ abgeschieden und gespeichert werden kann. Pyrolyse mit Energieerzeugung wurde als Co-Benefit gesehen. Ein weiterer Co-Benefit sei der Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Ein Dissens bestand in der Nutzung von CO₂, das aus Pflanzenkohle entsteht, da hier kein langfristiges Entnahmepotenzial gesehen wurde. Insgesamt wurde die Kaskade vor allem unter dem Aspekt der Maximierung der CO₂-Entnahme diskutiert, und ökonomische Aspekte müssten zusätzlich beleuchtet werden.

6.2.4 Gruppe 4 – Holzwerkstoffe und Agroforstwirtschaft

Wie auch in den anderen Gruppen stand in Gruppe 4 die Aufforstung an erster Stelle, vor allem in Mitteldeutschland und der Rhein-Neckar-Region. Der Fokus wurde auf die Douglasie in Mischwäldern mit Fichten gelegt. Kritisch wurde angemerkt, dass diese weniger klimaresilient und anfällig für Borkenkäfer seien. Auch müssen Setzlinge regional beschafft werden, wofür das Angebot gering und die Nachfrage hoch sei, sodass ein hoher Preis entstünde. Auf der Vorteilsseite gäbe es aber schon viel Erfahrung in der Pflege der Wälder und in der Weiterverarbeitung der Holzprodukte. Grundsätzlich sei Wiederaufforstung gut für die Umwelt, und die Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen stärkt die Resilienz – bspw. bei Stürmen.

Group 4

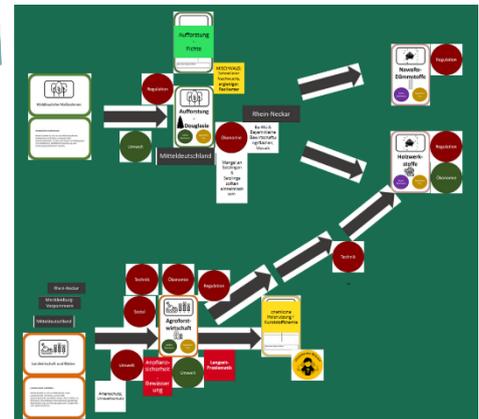


Abbildung 15: Biomassekaskade der Gruppe 4 im Planspiel „Carbon Cascadia“.

NawaRo werden als Nutzungsmöglichkeit für das Holz und für die CO₂-Speicherung gesehen. Hier gibt es allerdings noch ein regulatorisches Problem für den Brandschutz. Eine weitere Möglichkeit wäre die Nutzung als Holzwerkstoff, aber auch diese ist regulatorisch problembehaftet durch Brand- und Schallschutzbestimmungen. Dennoch könnte durch eine Skalierung die Holzbauweise günstig sein und somit einen ökonomischen Vorteil bieten. Eine zweite Kaskade, die in der vierten Gruppe besprochen wurde, ist die Landwirtschaft bzw. die Agroforstwirtschaft. Nachteile sind ein großer Pflegeaufwand sowie kleinteilige Nutzungsflächen und Eigentumsverhältnisse. Pachtverträge konzentrieren sich auf die Landwirtschaft, und eine Umnutzung in Agroforstwirtschaft ist regulatorisch sowie vertraglich schwierig. Politische Ansätze können dabei helfen, Streuobstwiesen und andere Agroforstsysteme leichter zu ermöglichen. Ob die Auswirkungen auf die Umwelt positiv oder negativ sind, ist abhängig von der Ausgestaltung der Flächen: Pappeln wirken wie Monokulturen, tragen aber zur Artenvielfalt (sowie beim Mikroklima, Nützlingen und Schattenwurf) bei. Allerdings sind Pappeln (noch) nicht als Baustoff gefragt. Hierfür sind technische Schwierigkeiten verantwortlich, da Verarbeitungstechnologie und Konstruktionsbaustoffe nicht auf diese Gehölze ausgelegt sind. Pappeln könnten aber eventuell für eine zukünftige Leichtbauweise infrage kommen, z. B. für Tiny Houses und Mobile Homes. Produkte aus der Agroforstwirtschaft könnten eventuell chemisch weitergenutzt werden, die Möglichkeiten wurden aber aufgrund fehlenden Wissens nicht weiter diskutiert. Eine energetische Nutzung wurde ganz am Ende der Kaskade als sinnvoll erachtet.

6.2.5 Evaluation des Planspiels

Das Planspiel „Carbon Cascadia“ zeichnete sich durch rege Diskussion aus. Auch wenn einige Teilnehmende zurückhaltend gegenüber dem Spiel auf einem Online-Whiteboard waren, haben doch alle ihre kritischen Punkte einbringen können. Es konnte verdeutlicht werden, dass bei Kaskaden vor allem an bestimmten Stellen Herausforderungen bestehen wie auch Konflikte zwischen den einzelnen Stakeholdern.

Die Kaskadenbildung der Teilnehmenden zeigte eine starke Lösungsorientierung. Es wurde versucht, sinnvolle Kaskaden zu bilden und dabei wichtige Chancen und Herausforderungen an den jeweiligen Stellen zu identifizieren.

Die Teilnehmenden schlugen in der Plenumsdiskussion der Kaskaden praktische Verfahren vor. Es wurde ein Zentralregister auf EU-Ebene für Carbon-Monitoring vorgeschlagen, also eine zentrale Erfassung und Regelung von Strömen ähnlich wie bei Ökostrom. Es wurde jedoch angemerkt, dass diesem Ansatz zu viele regulatorische Hürden und Probleme widersprechen, die sich aus den Wechselwirkungen von Regulierungen auf EU- und nationalstaatlicher Ebene ergeben. Durch ein Zertifizierungssystem (Green Certificate) würden nur höhere Kosten, bürokratischer Aufwand, Arbeitsaufwand und Verwaltungsaufwand für Lieferant*innen entstehen.

7 Schlussbemerkung

Die Workshops im regionalen und überregionalen Kontext haben eine Reihe detaillierter Erkenntnisse geliefert und die Erhebung wichtiger sozialwissenschaftlicher Daten ermöglicht. Darüber hinaus wurden die Ziele erreicht, den Stakeholdern die Möglichkeit zum Informationsaustausch zu bieten und sie in die Forschung zu integrieren.

Es wurde deutlich, dass die Stakeholder vor der herausfordernden Aufgabe standen, verschiedene Ziele und Werte im Zusammenhang mit CDR kritisch zu diskutieren und abzuwägen. Aus der Vielfalt der besprochenen Themen sind hier insbesondere trade-offs zwischen einer sicheren und langfristigen Speicherung von CO₂ und dem Wunsch primär möglichst auf vermeintlich naturnahe Lösungen, wie Aufforstung, landwirtschaftliche Maßnahmen oder die Wiedervernässung von Mooren zu setzen, wobei die Dauerhaftigkeit der CO₂-Speicherung für diese Verfahren u.a. durch den fortschreitenden Klimawandel in Frage gestellt wird. Zudem haben die Stakeholder ernsthafte politische, technische, umweltbezogene und regulatorische Herausforderungen hervorgehoben und hierbei vor allem neuere Ansätze, wie BECCS, kritisch betrachtet. Zusätzlich war die Frage der Nutzung von CO₂ ein inhaltlicher Streitpunkt, da jegliche industrielle Verwendung die Gefahr birgt, dass damit keine nachhaltige Entnahme erzielt wird und die Klimaschutzwirkung fraglich bleibt. In den genannten Diskussionspunkten wurden Unterschiede zwischen Stakeholdern, u.a. zwischen Industrie und NGOs, deutlich.

Eine zentrale Erkenntnis der Workshops ist die Bedeutung der Kaskadennutzung von Biomasse. Die schon in den ersten drei Workshops oft diskutierte Notwendigkeit der sinnvollen Verkettung von Biomasseproduktion, -verarbeitung und -speicherung, führte zur Entwicklung des Planspiels „Carbon Cascadia“. Seine Anwendung im überregionalen Workshop erlaubte weiterführende Einblicke in die Kaskadenkonstruktionspräferenzen und zeigte, wie teils widerstreitende Interessenlagen am konkreten Umsetzungsbeispiel bearbeitbar wurden. Mithilfe des Planspiels führte der abschließende Workshop die Komplexität und die vielen Detailprobleme von bioCDR-Kaskaden, die in Deutschland möglich wären, anschaulich vor Augen.

Die Vielfalt der bioCDR-Methoden, ihrer möglichen Kaskaden und der dazugehörigen Stakeholder stellt eine Komplexität dar, die von Politik und Gesellschaft verstanden werden muss, um eine sinnvolle und nachhaltige Nutzung in der Zukunft zu ermöglichen. Es ist nicht ersichtlich, dass es eine „beste“ Methode oder einen „one best way“ für bioCDR gibt. Vielmehr ist eine Portfoliolösung, die regionale Kontextbedingungen sowie die jeweiligen Vor- und Nachteile unterschiedlicher CDR-Verfahren in Klimastrategien einbezieht, am vielversprechendsten.

Weitere Beiträge mit und von BioNET

 Auswertung der Befragungen von Stakeholdern aus drei Regionen.

Otto, Danny; Matzner, Nils (2024): Let Us Get Regional: Exploring Prospects for Biomass-Based Carbon Dioxide Removal on the Ground. In *C* 10 (1), pp. 1–16. DOI: 10.3390/c10010025.

 Wissensbasis über Dynamiken von bioCDR.

Wollnik, Ronja; Borchers, Malgorzata; Seibert, Ruben; Abel, Susanne; Herrmann, Pierre; Elsasser, Peter et al. (2024): Dynamics of bio-based carbon dioxide removal in Germany. In *Scientific reports* 14 (1), pp. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-024-71017-x.

 Neue Verfahren von terrestrischer CO₂-Entnahme zum großen Teil mit Biomasse im Überblick.

Bodirsky, Benjamin Leon; Gawel, Erik; Hartmann, Jens; Havermann, Felix; Kuse, Kolja; May, Matthias et al. (2024): CO₂-Entnahmemethoden an Land – Überblick II: Neue technische Verfahren zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre. With assistance of Karin Adolph, Sina Löschke, Björn Maier. CDRterra. <https://zenodo.org/records/14526510>

 Modellierung von BECCS-Potenzialen in Deutschland.

Sadr, Mohammad; Esmaili Aliabadi, Danial; Jordan, Matthias; Thrän, Daniela (2024): A bottom–up regional potential assessment of bioenergy with carbon capture and storage in Germany. In *Environ. Res. Lett.* 19 (11), p. 114047. DOI: 10.1088/1748-9326/ad7edd.

 Diskussionspapier zu BECCS in Deutschland.

Borchers, Malgorzata; Jordan, Matthias; Volker, Lenz; Markus, Till; Matzner, Nils; Oehmichen, Katja et al. (2024): BECCS – ein nachhaltiger Beitrag zur dauerhaften CO₂-Entnahme in Deutschland? DOI: 10.57699/EDK7-MC18. https://www.ufz.de/index.php?de=20939&pub_id=29966

 Diskussionspapier zu Stakeholder-Prozessen bei CDR.

El Zohbi, Juliane; Fehr, Lukas; Eberenz, Samuel; Bartels, Lara; Fischer, Samuel; Gulde, Felix et al. (2024): Engaging Stakeholders in Your Carbon Dioxide Removal Research. Reflection Paper with Learnings & Recommendations from the CDRterra research programme (Zenodo). Online verfügbar unter <https://zenodo.org/records/10848490>.

 Fact Sheets zu bioCDR-Verfahren: <https://datalab.dbfz.de/bionet/>

Wollnik, Ronja; Borchers, Malgorzata; Seibert, Ruben; Abel, Herrmann, Pierre; Elsasser, Peter et al. (2025): Steckbriefe für biobasierte Kohlenstoffdioxid-Entnahmeoptionen in Deutschland. Open Agrar Repository. <https://doi.org/10.48480/kqz0-c029>

 Planspiel Carbon Cascadia: <http://carboncascadia.org/>

8 Literaturverzeichnis

Borchers, Malgorzata; Förster, Johannes; Thrän, Daniela; Beck, Silke; Thoni, Terese; Korte, Klaas et al. (2024a): A Comprehensive Assessment of Carbon Dioxide Removal Options for Germany. In: *Earth's Future* 12 (5), Artikel e2023EF003986. DOI: 10.1029/2023EF003986.

Borchers, Malgorzata; Jordan, Matthias; Volker, Lenz; Markus, Till; Matzner, Nils; Oehmichen, Katja et al. (2024b): BECCS – ein nachhaltiger Beitrag zur dauerhaften CO₂-Entnahme in Deutschland?

El Zohbi, Juliane; Fehr, Lukas; Eberenz, Samuel; Bartels, Lara; Fischer, Samuel; Gulde, Felix et al. (2024): Engaging Stakeholders in Your Carbon Dioxide Removal Research. Reflection Paper with Learnings & Recommendations from the CDRterra research programme (Zenodo). Online verfügbar unter <https://zenodo.org/records/10848490>.

IPCC (2022): WGIII Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

Matzner, Nils; Otto, Danny; Siedschlag, Daniela; Thrän, Daniela (2025): Governing regional carbon cascades – Stakeholder perspectives on regional governance of biomass-based CDR. *Eingereicht*.

Otto, Danny; Matzner, Nils (2024): Let Us Get Regional: Exploring Prospects for Biomass-Based Carbon Dioxide Removal on the Ground. In: *C 10* (1), S. 1–16. DOI: 10.3390/c10010025.

Sadr, Mohammad; Esmaili Aliabadi, Danial; Jordan, Matthias; Thrän, Daniela (2024): A bottom–up regional potential assessment of bioenergy with carbon capture and storage in Germany. In: *Environ. Res. Lett.* 19 (11), S. 1–14. DOI: 10.1088/1748-9326/ad7edd.

Schenuit, Felix; Treß, Domenik (2025): Eine „Kurzfriststrategie Negativemissionen“ (SWP Aktuell, A 10).

Smith, Steve; Geden, Oliver; Gidden, Matthew; Lamb, William, F.; Nemet, Gregory F.; Minx, Jan et al. (2024): The State of Carbon Dioxide Removal - 2nd Edition. Smith School of Enterprise and the Environment Oxford, zuletzt geprüft am 10.06.2024.

Wollnik, Ronja; Borchers, Malgorzata; Seibert, Ruben; Abel, Susanne; Herrmann, Pierre; Elsasser, Peter et al. (2024): Dynamics of bio-based carbon dioxide removal in Germany. In: *Scientific reports* 14 (1), S. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-024-71017-x.

Wollnik, Ronja; Szarka, Nora; Matzner, Nils; Otto, Danny; Sadr, Mohammad; Esmaili Aliabadi, Danial; Tremmel, Raphael; Röbbisch, Joshua; Thrän, Daniela (2025): Scenario storylines for carbon dioxide removal in Germany: Drawing from regional perspectives. *GCB Bioenergy. Im Erscheinen*.