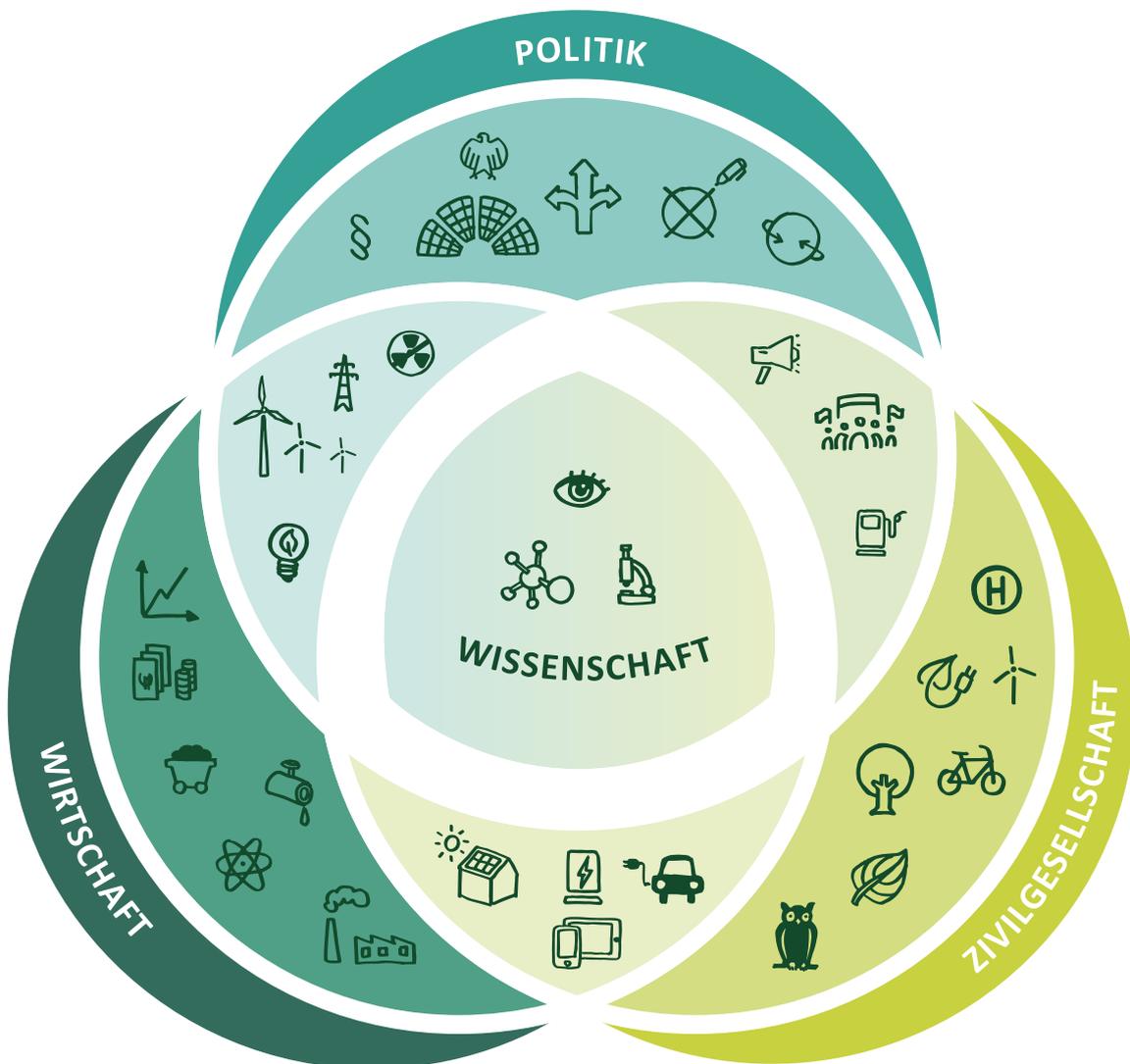




Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen.

Wie kann eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?

Prof. Dr. Gesine Schwan, Katja Treichel und Sarah Schmauk



Bericht zum Trialog® am 23. Februar 2018



Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie kann eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?

Prof. Dr. Gesine Schwan, Katja Treichel und Sarah Schmauk

Die HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH

Die HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH ist eine gemeinnützige Gesellschaft, die sich für die Förderung von demokratischen Prozessen und durchdachten Governance-Strategien in Deutschland, Europa und der Welt einsetzt. Unser Beitrag zu Good Governance konzentriert sich insbesondere auf die Grundprinzipien Transparenz und Partizipation. Mit unseren Multi-Stakeholder-Initiativen und Trialogen entwickeln wir Verfahren mit dem Anspruch, möglichst viele Perspektiven zu integrieren und sie transparent zu machen. Denn nur über Transparenz und Partizipation sind die Berücksichtigung aller Stakeholdergruppen und die daraus resultierende Stärkung von Vertrauen in politische Entscheidungsprozesse möglich.

Über das Projekt

Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das interdisziplinäre Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmensseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform werden dazu genutzt, neue Themen aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und Fragestellungen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Anschlussfähigkeit zu schärfen.



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Empfohlene Zitierweise: HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform (2018): „Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie kann eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?“ Bericht ETR/02-2018 von Schwan, Gesine; Treichel, Katja; Schmauk, Sarah zum Trialog vom 23.02.2018.

INHALTSVERZEICHNIS

EXECUTIVE SUMMARY	6
1 Beschreibung der Trialog-Veranstaltung	11
1.1 Hintergrund	11
1.2 Ziele des Trialogs.....	12
1.3 Auswahl der Inputgebenden	13
2 Analyse des Trialogs	13
2.1 Auswertung und Überblick	13
2.2 Hintergrund zur Nutzung von Bioenergie	14
2.3 Bioenergie: Chancen nutzen, Risiken eindämmen	19
2.3.1 Potenziale	19
2.3.2 Risiken und Trade-offs	24
2.4 Optionen für negative Emissionen	27
2.4.1 Vorstellung der Optionen	27
2.4.2 Diskussion der Bedeutung negativer Emissionen.....	33
2.4.3 Carbon Capture and Storage & Carbon Capture and Utilisation.....	34
2.4.4 Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (BECSS) – eine Option?.....	38
2.5 Politische Rahmenbedingungen auf nationaler und EU-Ebene	41
2.6 Aspekte einer langfristigen Bioenergie-Strategie	44
2.7 Schlussbetrachtung	51
3 Ausblick auf Folgeaktivitäten.....	54
4 Annex	i
Annex I: Konzept der Trialoge®	i
Annex II: Agenda.....	iii
Annex III: Stakeholderauswertung	iv
Annex IV: Impulspapier für den Trialog	viii

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern (2017).....	15
Abb. 2: Kraftstoffverbrauch Deutschland 2016 und Anteil Biokraftstoffe.....	23
Abb. 3: Funktionsweise und Kohlenstoffströme von Bioenergie mit und ohne CCS	34
Abb. 4: Veranschaulichung der Effizienzsteigerung und Klimaschutzquote	42

EXECUTIVE SUMMARY

Thema und Hintergrund

Der achte Trialog zum Thema „Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie soll eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?“ fand am 23. Februar 2018 in Kooperation mit dem Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) statt. Die Teilnehmenden diskutierten darüber, welches Potenzial Bioenergie für negative Emissionen bietet und welche Arten der Bioenergienutzung zukünftig von Bedeutung sein werden.

Bioenergie ist vielseitig einsetzbar als Biokraftstoff im Verkehr, zum Heizen sowie zur Stromerzeugung. Ebenfalls könnten mithilfe von Bioenergie negative Emissionen geschaffen werden, wenn Kohlendioxid aus Produktionsanlagen für Biokraftstoffe oder aus Biomassekraftwerken abgeschieden und unterirdisch gelagert wird (Bioenergie mit Carbon Capture and Storage, kurz BECCS). Viele Klimaschuttszenarien deuten darauf hin, dass das 1,5- oder 2-Grad-Ziel ohne solche **negativen Emissionen** nicht erreichbar ist. Jedoch können auch beim Anbau von Biomasse Treibhausgasemissionen entstehen, die den Klimanutzen verringern. Hinzu kommt, dass Biomasse als begrenztes Gut nicht nur zur Energieversorgung, sondern auch in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie verwendet wird. Werden Energiepflanzen nicht nachhaltig angebaut, können sie Umwelt, Böden und Gewässer belasten.

Ziel des Trialogs war es, gemeinsam mit Stakeholdern aus Politik und Verwaltung, organisierter Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft zu diskutieren, wie eine **nachhaltige Bioenergiestrategie** gestaltet werden könnte und, welche Interdependenzen und Fallstricke dabei zu beachten sind. Die Ideen und Anregungen aus der Diskussion flossen in den weiteren **Arbeitsprozess der ESYS-Arbeitsgruppe „Bioenergie“** zur Erstellung einer Analyse und Stellungnahme, die im Herbst 2018 veröffentlicht werden.

Ausgangspunkt für die Diskussion bildeten ein Impulspapier sowie drei **Leitfragen** der Mitglieder des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“, die hier zusammengefasst sind:

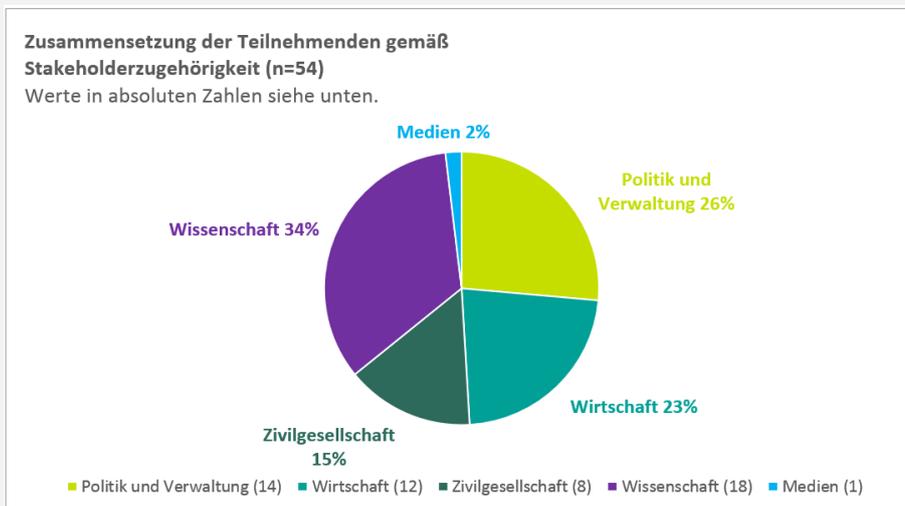
- Welchen Beitrag kann Bioenergie für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland leisten? Welche Arten von Biomasse können dafür verwendet werden, und wieviel davon? Wie kann sichergestellt werden, dass dies nachhaltig geschieht und auch die globalen Folgenangemessen berücksichtigt werden?
- Eine langfristig ausgerichtete Biomassestrategie sollte Biomasse in Entwicklungspfade lenken, in denen sie einen möglichst großen Beitrag zum Klimaschutz liefert. Welche Rolle kann und soll Bioenergie mit CCS

in einer Biomassestrategie spielen? Welche Vor- und Nachteile hat eine dezentrale Bioenergienutzung gegenüber zentralen, großtechnischen Verfahren, die sich eher mit CCS kombinieren lassen?

- Neben dem Klimaschutzbeitrag gibt es vielfältige weitere Erwartungen an die Bioenergie: von einer hohen Ressourceneffizienz über Aspekte des Naturschutzes bis hin zur regionalen Wertschöpfung. Welche Kriterien sollen im Fokus einer nationalen Biomassestrategie stehen?

Teilnehmende

Insgesamt nahmen 54 Vertreterinnen und Vertreter aus Politik und Verwaltung, der Wirtschaft, der organisierten Zivilgesellschaft sowie der Wissenschaft und den Medien an der Trialog-Veranstaltung im Allianz Forum in Berlin teil. Durch die Einbettung des Trialogs in das Akademienprojekt ESYS war die Wissenschaft mit einem großen Anteil von 18 Personen vertreten. Teilnehmende Institutionen waren z.B. das Institut für zukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) gGmbH, das Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), das ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und die Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP).



Von Seiten der Wirtschaft nahmen insgesamt 12 Vertreterinnen und Vertreter teil. Darunter waren große Unternehmen, wie die Vattenfall GmbH und die Neste Corporation. Ebenfalls nahmen diverse Organisationen und Verbände teil, wie z.B. der Deutsche Bauernverband e.V. (DBV) und der Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB).

Aus dem politisch-administrativen Bereich nahmen 14 Personen am Trialog teil. Neben Vertreterinnen und Vertretern verschiedener Landesministerien kamen weitere Teilnehmende aus dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) und dem

Umweltbundesamt (UBA). Die Medien waren durch einen Redakteur der Agrarzeitung vertreten.

Ergebnisse

Ziel des Trialogs war, eine Debatte über die **Gestaltungsmöglichkeiten einer nachhaltigen Bioenergiestrategie** zu führen mit Blick auf die Chancen für den Klimaschutz sowie die ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Risiken. Der Trialog sollte einen Rahmen schaffen, in dem sich Akteure aus Wissenschaft und Gesellschaft auf Augenhöhe begegnen.

In Deutschland trägt die Bioenergie mit 54 % den größten Anteil der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Ressourcen bei. Es ist aber umstritten, wie stark der Anteil an Bioenergie weiter steigen kann, da deren Nutzung negative Effekte, Risiken und Spannungsverhältnisse mit anderen Nutzungsformen von Biomasse gegenüberstehen. Im Trialog wurde betont, dass die Bioenergie mit vielen verschiedenen Bereichen wie der Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Industrie und Ökologie zusammenhängt, so dass das Ziel einer nachhaltigen Bioenergienutzung für die Energiewende eine **Zusammenschau der Bereiche** und Implikationen voraussetzt. Für die zukünftige und nachhaltige Nutzung der Bioenergie ist entscheidend, dass eine Transformation der vorhandenen Kapazitäten stattfindet, denn neue Potenziale sind stark begrenzt und mitunter umstritten. Entsprechend sollte Bioenergie in den Bereichen genutzt werden, wo sie am dringendsten gebraucht wird, wie bspw. der Luft- und Schifffahrt. Dort, wo fossile Kraftstoffe nicht direkt durch Strom ersetzt werden können.

Die Betrachtung der Biomassepotenziale in einem nationalen Kontext, z.B. nur für Deutschland, ist nicht sinnvoll. Biomassepotenziale sind global einzuordnen, da sie auch global gehandelt werden. Weitere Potenziale für die Bioenergie werden in der Nutzung von biologischen Rest- und Abfallstoffen gesehen, insbesondere von Anhängern der biobasierten Wirtschaft. Auch im Trialog wurde Rest- und Abfallstoffen eine zukünftig wichtige Rolle zugesprochen.

Zur Frage, welche **Rolle Bioenergie in der Umsetzung der Ziele von Paris** zur Stabilisierung des Klimas spielen kann, gab es viel Diskussionsbedarf über negative Emissionen. Es herrschte Uneinigkeit über die notwendigen Schritte, insbesondere zwischen denjenigen, die Probleme gerne mittels Technik lösen wollen und denjenigen, die Probleme durch einen gesellschaftlichen Wandel beheben möchten. Um das Pariser Klimaschutzabkommen einzuhalten, müssen die Nettotreibhausgasemission in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auf null zurückgefahren werden. Aktuell wird davon ausgegangen, dass dies nur möglich ist, wenn es ein **Zusammenspiel von CO₂-Vermeidung und CO₂-Entnahme** aus der Atmosphäre gibt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Technologien, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen und somit negative Emissionen

zu schaffen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Optionen wurden auf dem Trialog kontrovers diskutiert. Tiefergehend wurde Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (BECCS) besprochen. Unter bestimmten Bedingungen wurde deren Einsatz in der Industrie als eine mögliche Option gesehen: So könnte bspw. die Prozesswärme in **Industrieprozessen** durch Bioenergie erzeugt und das entstehende CO₂ abgeschieden werden. Der Vorteil dabei wäre, dass es eine zentrale CO₂-Abscheidungsquelle gibt und die Industrie ihre Emissionen reduzieren kann. Allerdings wurde BECCS hinsichtlich der Sicherheit, Umsetzbarkeit, Akzeptanzfragen und Kosten nicht vor potentiellen Alternativen favorisiert. Ein Großteil der Teilnehmenden befürwortete die eher biologischen Optionen zur Erzeugung negativer Emissionen wie Aufforstung oder die Wiedervernässung von Mooren. Dennoch betonten einige Teilnehmende, dass angesichts des verbleibenden Kohlenstoffbudgets auf keine der möglichen Optionen verzichtet werden sollte. Dies müsse aber in Verbindung mit dem obersten Ziel, der **Abschaffung großer Emittenten**, geschehen.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Bioenergie wurden im Plenum als unsicher dargestellt. Es wird mehr langfristige Planungssicherheit gewünscht. Ebenfalls sollte explizit gemacht werden, welche europäischen oder nationalen Vorgaben welche Auswirkungen, auch auf anderen Staaten, haben.

Die große Herausforderung zur Entwicklung einer langfristigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie besteht darin, dass das zukünftige Anforderungsprofil der Nutzung noch nicht genau beschrieben werden kann. Daher kann es keine Langfriststrategie für Bioenergie in Form eines fixen Masterplans geben. Vielmehr benötigt es ein Format, das angepasst und verändert werden kann, so die Mehrheit der Teilnehmenden. Eine konsistente Bioenergiestrategie ist davon abhängig, dass es eine stärkere Abstimmung zwischen der Klima-, Energie, Agrar-, Entwicklungs- und Umweltpolitik gibt. Weiterhin ist eine offene Diskussion über die einzuschlagenden Technologiepfade wichtig. Jedoch wurde auch gefordert, dass trotz aller Offenheit Technologien wie BECCS eng an andere energiepolitische Fragen, wie den Ausstieg aus der Kohle, geknüpft sein müssen.

Ein **CO₂-Preis** wurde als Lösung vieler Probleme gesehen. Insbesondere für die Bioenergie wurde der Vorteil gesehen, dass sie durch eine CO₂-Bepreisung dort eingesetzt wird, wo andere Technologien sehr hohe Klimaschutzvermeidungskosten hätten. Da ein globaler CO₂-Preis in Kürze nicht erwartet werden kann, wurde die Frage aufgeworfen inwieweit **durch Zertifizierung eine Brücke** geschlagen werden kann, um sicherzustellen, dass mindestens der Bioenergiebereich, aber vielleicht auch weitere Teile des Agrarbereichs nachhaltig betrieben werden. Allerdings können nicht

alle Probleme (Biodiversität, Monokulturen, Fleischkonsum) über die Bioenergie gelöst werden.

Zusammenfassend wurde festgehalten, dass es für eine nachhaltige Bioenergiestrategie nicht ausreicht, nur Einzelaspekte zu betrachten. Vielmehr ist es notwendig in größeren Zusammenhängen zu denken, um der Komplexität des Themas gerecht zu werden. Deshalb ist neben dem Einbezug unterschiedlicher Bereiche auch eine **globale Perspektive** nötig. Biomasse zur energetischen Nutzung wird im Rahmen einer Bioökonomie immer hinter Ernährung zurückstehen. Auch das darf bei einer wachsenden Weltbevölkerung und im Sinne der Sustainable Development Goals nicht ignoriert werden.

Trialoge

Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform sind ganztägige Veranstaltungen. Sie organisieren eine gemeinwohlorientierte Verständigung von Stakeholdern aus Politik und Verwaltung, Unternehmen und organisierter Zivilgesellschaft begleitet von Wissenschaft und Medien zu aktuellen gesellschaftspolitischen Themen. Die Trialoge bringen ein möglichst breites Spektrum an kontroversen gesellschaftlichen Positionen und Ideen zusammen. Mit der Chatham House Rule und einer fairen Moderation schaffen sie eine vertrauliche und zugleich offene Atmosphäre zwischen den Teilnehmenden. So können eine Vielzahl von Standpunkten und Ideen Eingang in die Diskussion finden – unabhängig von divergierenden Machtpositionen. Diese Perspektivenvielfalt bietet die Chance, breit getragene Grundkonsense zu ermitteln.

In den transdisziplinären Trialogen rückt die Wissenschaft stärker in den Mittelpunkt, da ihre Forschungsarbeit und jeweilige Implikationen den Fokus der Diskussion bilden. Die Wissenschaft erhält durch den Austausch mit gesellschaftlichen Akteuren eine Rückkopplung zu ihrer Arbeit und die Teilnehmenden aus den verschiedenen Stakeholdergruppen gewinnen neue Einsichten und Perspektiven. So wird durch das Zusammenbringen von wissenschaftlich-analytischer Forschung, gesellschaftlichem Erfahrungswissen und gesellschaftspolitischen Entscheidungs- und Problemlösungsanforderungen eine breite Basis der Erkenntnisse hergestellt, die Perspektivenwechsel und breitere Verständigungsprozesse ermöglicht. Dieses transdisziplinäre Dialogformat trägt langfristig zu einer gesteigerten gesellschaftlichen Anschlussfähigkeit der Forschungsergebnisse, robustem Gesellschaftswissen sowie besser informierten politischen Entscheidungen bei.

1 Beschreibung der Trialog-Veranstaltung

1.1 Hintergrund

Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das **interdisziplinäre Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS)** gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmensseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform werden dazu genutzt, neue Themen aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und Fragestellungen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Anschlussfähigkeit zu schärfen.

Die **Arbeitsgruppe „Bioenergie“ des Projekts Energiesysteme der Zukunft** diskutiert Handlungsoptionen für eine langfristige Strategie zur Bioenergienutzung und beleuchtet vor dem Hintergrund der langfristigen Klimaschutzziele, die Rolle von negativen Emissionen, insbesondere von Bioenergie mit Carbon Capture and Storage, kurz BECCS. Die wissenschaftliche Stellungnahme soll Anfang 2019 veröffentlicht werden. Die Arbeitsgruppe umfasst 16 Mitglieder, ist transdisziplinär zusammengesetzt und wird gemeinsam von Frau Professorin Daniela Thrän (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ/ Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ) und Herrn Professor Gernot Klepper (Institut für Weltwirtschaft (IfW) Kiel) geleitet. Den Austausch mit der organisierten Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft, Politik & Verwaltung suchte die AG am 23. Februar 2018 beim Trialog zum Thema „Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie soll eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?“.

Als inhaltliche Vorbereitung für den Trialog wurde allen Teilnehmenden ein Impulspapier der AG Bioenergie (siehe Annex) zur Verfügung gestellt, in dem die wichtigsten Entwicklungen sowie mögliche Handlungsoptionen aufgezeigt wurden. Drei **Leitfragen für die Diskussion:**

- Welchen Beitrag kann Bioenergie für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland leisten? Welche Arten von Biomasse können dafür verwendet werden, und wieviel davon? Wie kann sichergestellt werden, dass dies nachhaltig geschieht und auch die globalen Folgen angemessen berücksichtigt werden?

- Eine langfristig ausgerichtete Biomassestrategie sollte Biomasse in Entwicklungspfade lenken, in denen sie einen möglichst großen Beitrag zum Klimaschutz liefert. Welche Rolle kann und soll Bioenergie mit CCS in einer Biomassestrategie spielen? Welche Vor- und Nachteile hat eine dezentrale Bioenergienutzung gegenüber zentralen, großtechnischen Verfahren, die sich eher mit CCS kombinieren lassen?
- Neben dem Klimaschutzbeitrag gibt es vielfältige weitere Erwartungen an die Bioenergie: von einer hohen Ressourceneffizienz über Aspekte des Naturschutzes bis hin zur regionalen Wertschöpfung. Welche Kriterien sollen im Fokus einer nationalen Biomassestrategie stehen?

1.2 Ziele des Trialogs

Ziel des Trialogs war, eine Debatte über die Gestaltungsmöglichkeiten einer nachhaltigen Bioenergiestrategie zu führen mit Blick auf die Chancen für den Klimaschutz sowie die ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Risiken. Der Trialog sollte einen Rahmen schaffen, im dem sich Akteure aus Wissenschaft und Gesellschaft auf Augenhöhe begegnen. All diese Akteure sind **Wissens- und Erfahrungsträger** und bringen zugleich ihre eigenen Logiken in die Diskussion ein. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Akademienprojekts ESYS konnten im Trialog zu einem sehr frühen Zeitpunkt in ihrer Arbeitsphase einen Überblick über die verschiedenen gesellschaftlichen Perspektiven und den Stand der gesellschaftlichen Diskussionen erhalten. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus den Stakeholdergruppen Politik und Verwaltung, Wirtschaft, organisierte Zivilgesellschaft und Medien bekamen einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Biomasseforschung und erhielten die Möglichkeit Anliegen, Interessen und Erfahrungen in die wissenschaftliche Debatte einzubringen. Dabei werden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch angehalten, nicht nur ihre Positionen vorzutragen, sondern diese auch zu begründen. Der **transdisziplinäre Austausch** soll den Teilnehmenden dazu verhelfen, andere Perspektiven anzunehmen, was für eine *echte* Verständigung notwendig ist. Ein wichtiges Element dabei ist eine gemeinsame, für alle verständliche Sprache zu finden.

„Nur wenn wir mit Begründungen kommen und Argumente haben und, wenn wir uns dann auch auf die anderen beziehen, was bedeutet, dass wir darüber nachdenken, was die anderen gesagt haben, kommen wir weiter. Also wir sollen nicht nur Standpunkte vorstellen, sondern sie auch miteinander in ihrem Begründungszusammenhang erklären.“

| ZIVILGESELLSCHAFT

Im Ergebnis soll der Trialog die Anschlussfähigkeit der wissenschaftlichen Arbeit stärken, insbesondere bei der Formulierung der Analysen und Stellungnahmen sowie zur Herausstellung relevanter Punkte innerhalb großer Themenkomplexe. Der Austausch und die Verständigung der verschiedenen Stakeholder kann so zur **Akzeptanz der Ergebnisse**

beitragen. Weiterführende Informationen zum Konzept der Trialoge und zum Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft finden Sie im Annex I.

1.3 Auswahl der Inputgebenden

Die Inputgebenden wurden dem Dialog-Format entsprechend entlang der Stakeholder-Zuordnung eingeladen. Es bestand nicht der Anspruch, dass die Inputgebenden alle vermeintlichen Gemeinwohlinteressen vertreten, sondern im Gegenteil, dass sie durchaus ihre Teilperspektiven vorstellen, die auch im Gegensatz zueinander oder zu den Positionen anderer Teilnehmerinnen und Teilnehmer stehen können. Überschneidungen zwischen den Sektorenvertretern sind möglich und auch erwünscht, um zu Grundkonsenskorridoren zu gelangen. Diese sind wiederum essentiell, um das überparteiliche Ziel der Energiewende gemeinwohlorientiert und effektiv umzusetzen.

Eine **inhaltliche Einführung** in das Thema gab Frau Professor Daniela Thrän, Bereichsleiterin Bioenergiesysteme am Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) und Leiterin Department Bioenergie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Daran anschließend folgten drei Inputvorträge von Vertretern der Stakeholdergruppen. Den Anfang machte Dr. Justus Andreas, Policy Manager Industry bei der Bellona Foundation (**organisierte Zivilgesellschaft**). Er gab Einblicke in die heute schon vorhandenen Möglichkeiten zur Speicherung von CO₂ und zeigte einige Vorteile der Nutzung von Bioenergie in Kombination mit CCS auf. Als Vertreter der **Wirtschaft** sprach Herr Henrik Erämetsä, Head of Aviation der Neste Corporation, über die Wichtigkeit einer technologieoffenen Förderung und Forschung. Darüber hinaus hob er die Bedeutung synthetischer Kraftstoffe für den Luft- und Straßenverkehr hervor. Den dritten Input aus der Stakeholdergruppe **Politik und Verwaltung** gab Herr Dr. Volker Niendieker, Referatsleiter Energieangelegenheiten und Bioenergie im Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Seiner Einschätzung nach sind die Potenziale der Bioenergie im Wärme- und Verkehrssektor noch nicht ausgeschöpft. Trotzdem sei es wichtig für eine langfristige Bioenergiestrategie eine globale und vor allem über die einzelnen Sektoren hinausgehende Perspektive einzunehmen.

2 Analyse des Dialogs

2.1 Auswertung und Überblick

Die qualitative Auswertung der transkribierten Diskussion erfolgte angelehnt an die **dokumentarische Methode** nach Ralf Bohnsack¹, eine etablierte Methode der qualitativen Sozialforschung, die insbesondere für die Auswertung von Gesprächen mit mehreren

¹ Bohnsack, Ralf (2008): Rekonstruktive Sozialforschung, Einführung in qualitative Methoden, Opladen/ Farmington Hills.

Personen angewandt wird. Mit diesem Verfahren kann eine tiefergehende Interpretation des Materials erreicht werden, als bei einer Interpretation ausschließlich entlang des Diskussionsverlaufs. Die diskutierten Themen können schließlich gebündelt dargestellt und prägnante Aussagen zitiert werden.

Die vorliegende Analyse trägt die verschiedenen Aspekte, Verständnisse und Diskurse der Dialog-Veranstaltung systematisch zusammen. Der **Aufbau des Berichts** orientiert sich an den in der Auswertung des Transkripts **identifizierten Themenbereichen**:

- Thematischer Hintergrund
- Potenziale und Spannungsverhältnisse der Bioenergienutzung
- Optionen für negative Emissionen
- Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (BECCS)
- Aspekte einer nachhaltigen Bioenergiestrategie

Diese Themenbereiche werden mit den dazugehörigen Argumenten beleuchtet und ausgewertet. Aus den Ergebnissen kann ein Sachstand der Diskussion zwischen den vertretenen Stakeholdern dargelegt werden. Daraus lässt sich ein gesellschaftlicher Grundkonsenskorridor ableiten, aber auch Fragen und Gesichtspunkte, die der weiteren Vertiefung durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bedürfen. Die Ergebnisse zeigen die wichtigsten Punkte der gesellschaftlichen Debatte auf, die in den politischen Handlungsempfehlungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Thema berücksichtigt werden sollten. Zunächst soll kurz die Bedeutung transdisziplinärer Methoden für weitere Forschungsprozesse zum Thema erläutert werden, wie sie sich auch in der Veranstaltung zeigte.

2.2 Hintergrund zur Nutzung von Bioenergie

Die **Bioenergie** ist eine alte, sehr wichtige erneuerbare Energiequelle und wird aus Biomasse gewonnen. Die in der Biomasse gespeicherte Energie kann entweder **direkt**, durch einfaches Verbrennen des Materials, oder indirekt, durch Umwandlung in einen **flüssigen** Biokraftstoff wie Bioethanol und Biodiesel oder einen **gasförmigen** Biokraftstoff wie Biogas freigesetzt werden.

In Deutschland trägt die Bioenergie mit 54 % den größten Anteil der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien bei (vgl. Abb. 1.). Ein Vorteil von Bioenergie im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern ist

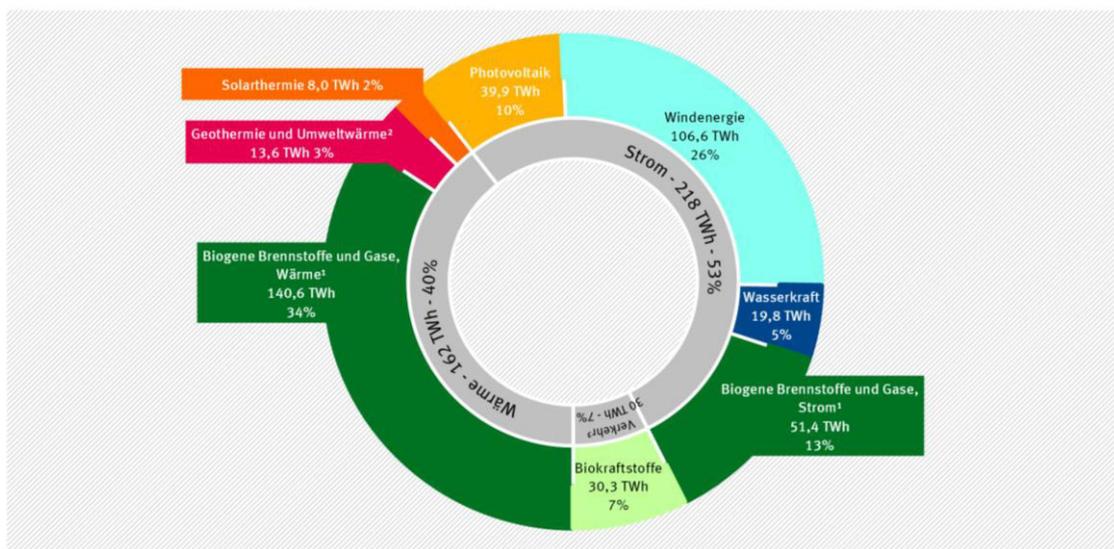
Definition Biomasse

Biomasse ist der biologisch abbaubare Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich tierischer und pflanzlicher Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur. Auch der biologisch abbaubare Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten zählt nach dieser Definition zur Biomasse.

ihr flexibler Einsatz: im Umfang von 222 Twh wird sie in Deutschland als elektrische Energie, Wärme und Kraftstoff in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr eingesetzt. In allen drei Bereichen konnte in den letzten 20 Jahren ein erheblicher Zuwachs der Bioenergienutzung verzeichnet werden.² Darüber hinaus ist Bioenergie speicherbar, planbar einsetzbar und kann somit fluktuierende Wind- und Sonnenenergie ausgleichen. Auch ihre dezentrale Nutzung wird als ein positiver Effekt zur Stärkung der regionalen Wirtschaft hervorgehoben.

Abb. 1: Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern (2017*)

Gesamtenergiebereitstellung: 410,4 Terawattstunden [TWh]



¹ mit biogenem Anteil des Abfalls
² Stromerzeugung aus Geothermie etwa 0,1 TWh (nicht separat dargestellt)
³ Verbrauch von EE-Strom im Verkehr etwa 3,8 TWh
 * vorläufige Werte / Abweichungen bedingt durch Rundungen

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat
Stand 02/2018

Quelle: Vgl. Umweltbundesamt (2018): Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien (2017, abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>).

Deutschland hat im Jahr 2016 über alle Sektoren hinweg **906,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente emittiert**.³ Trotz steigendem Anteil erneuerbaren Energien, die Einsparungen

² Siehe bspw. BMWi (2018): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, abrufbar unter: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=15.

³ Vgl. Umweltbundesamt (2018): Klimagasemissionen stiegen im Jahr 2016 erneut an.

von 160,1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente ausmachen, sind ein Drittel der Emissionen dem Energiesektor zuzuschreiben.⁴ Bioenergie verhalf zu einem Einsparpotential von 64,2 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten. Der Bioenergie wird eine wichtige Rolle zugeschrieben, um dem Pariser Klimaabkommen entsprechend das **Gleichgewicht** zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken herzustellen.⁵

„[...] , dass die Energiewende nicht einfach eine technokratische Angelegenheit ist, sondern, dass sie von der gesamten Gesellschaft getragen werden, auch ausgeführt werden muss, praktiziert, inspiriert, gestaltet und mitgedacht werden muss. Und das führt eben dazu, dass wir sagen, wir müssen verschiedene gesellschaftliche Aspekte bei dieser Energiewende, auch was den Bioenergiebereich angeht, zusammenbringen.“ | ZIVILGESELLSCHAFT

Jedoch ist umstritten, wie stark der Anteil an Bioenergie weiter steigen kann, da der Bioenergienutzung **negative Effekte, Risiken und Spannungsverhältnisse** mit anderen Nutzungsformen von Biomasse gegenüberstehen. So besteht die Möglichkeit, dass der verstärkte Einsatz von Bioenergie ungewollte Nebeneffekte, wie die Abholzung von Wäldern sowie Nutzungskonkurrenzen mit der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung (Tank-Teller-Diskussion) nach sich ziehen könnte. Ebenfalls kann sich der Anbau von Energiepflanzen negativ auf Artenvielfalt, Böden und Gewässer auswirken.⁶

Im Trialog wurde betont, dass **die Bioenergie mit vielen verschiedenen Bereichen wie der Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Industrie und Ökologie zusammenhängt**, so dass das Ziel einer nachhaltigen Bioenergienutzung für die Energiewende eine Zusammenschau der Bereiche und Implikationen voraussetzt.

Um einigen Risiken entgegenzuwirken gibt es bereits für einzelne Bereiche der Bioenergie **Nachhaltigkeitszertifizierungen** (z.B. für Biokraftstoffe). Jedoch wird auch durch Nachhaltigkeitszertifizierungen die Frage, wofür und in welchem Maß Bioenergie verwendet werden soll, nicht geklärt: Sollte sie vor allem als Reserve in Dunkelflauten zur Verfügung stehen, als Kraftstoff für den Flugverkehr und Brennstoff in Bereichen, wo fossile Energieträger nur schwer ersetzbar sind oder als Quelle für negative Emissionen?

Emissionen des Verkehrssektor höher als 1990 – auch Kohleausstieg nötiger denn je, abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimagasemissionen-stiegen-im-jahr-2016-erneuert-an>.

⁴ BMWi (2017): Erneuerbaren Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016, S. 20, abrufbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

⁵ Vgl. Abkommen von Paris (2016), abrufbar unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=DE%20vgl.%20Abkommen%20von%20Paris%202016](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=DE%20vgl.%20Abkommen%20von%20Paris%202016).

⁶ Impulspapier AG Bioenergie (2018), S. 1 (siehe Annex).

Verglichen mit der Anfangszeit der Bioenergienutzung haben sich die Ziele verändert: Zu Beginn stand die möglichst kostengünstige Produktion von erneuerbaren Energien zur Reduktion des Kohleanteils im Energiesystem im Vordergrund. Heute stehen auch Fragen der **Systemdienlichkeit**, der strategische Einsatz von bestimmten erneuerbaren Energieträgern, **Flexibilisierung** und die Möglichkeit zur **CO₂-Entnahme** im Raum. Daher ist für die zukünftige Nutzung der Bioenergie entscheidend, dass eine **Umnutzung der vorhandenen Kapazitäten** stattfindet, um den neuen Zielen gerecht zu werden. Denn das Potential, mehr Biomasse energetisch zu nutzen als bisher, ist stark begrenzt.

Ein Grundproblem besteht darin, dass nicht sicher ist, wie viel Biomassepotenzial vorhanden ist und wie das Transformationssystem aussehen soll. Dazu gehört auch, dass nicht klar vorausgesagt werden kann, wie sich Forst- und Landwirtschaft, Bevölkerungswachstum und Ernährungsgewohnheiten sowie die Ökologie langfristig entwickeln werden. All diese Aspekte beeinflussen die Biomassepotenziale, die zur energetischen Nutzung bereitstehen könnten. Entsprechend besteht das Problem einer umfassenden Strategie und Entscheidungsgrundlage darin, dass es nicht nur gilt eine Dimension abzuschätzen, sondern gleich mehrere und diese Dimensionen und Faktoren sind zusätzlich interdependent. Hinzu kommt, dass eine Bioenergie- und somit auch Biomassedebatte global einzuordnen ist, da Deutschland bereits heute Netto-Importeur von Biomasse ist und rechnerisch etwa ein Drittel seiner eigenen Agrarflächen im Ausland beansprucht.⁷

„Wenn wir eine Wahrscheinlichkeitsberechnung haben für einen 2°C-Pfad, dann sprechen wir davon, dass ein bestimmtes Kohlenstoffbudget über einen Zeitraum, eine Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dieses Temperatur-Ziel zu erreichen. Wahrscheinlichkeit heißt, es ist eine Bandbreite. Und in dieser Bandbreite haben wir sehr wohl die Möglichkeit auch ohne Kohlenstoffentnahmen auszukommen, wenn wir den Input, den Eintrag in die Atmosphäre vorher stärker reduzieren.“ |

WISSENSCHAFT

Eine breite Zustimmung zur Frage der Nutzung von Bioenergie fand im Trialog die Antwort, dass sie trotz ihrer vielfältigen Einsetzbarkeit aufgrund ihrer Limitierung **in den Bereichen genutzt werden sollte, wo sie am dringendsten gebraucht wird, wie bspw. der Luft- und Schifffahrt**. Welche Bereiche das mittel- und langfristig dann konkret sind, wird auch von verfügbaren Alternativen bestimmt (z.B. Power-to-X, Ausbau anderer erneuerbarer Energien, Speicher und andere Möglichkeiten der CO₂-Entnahme). Ebenfalls hängt die Nutzung der Bioenergie stark von den benötigten Anbauflächen sowie dem Biomassebedarf ab. Hier auf wirken sich vor allem unsere Ernährungsgewohnheiten aus: Ein Großteil der Flächen

⁷ Impulspapier AG Bioenergie (2018), S. 1 (siehe Annex).

wird bspw. nicht für die unmittelbare Nahrungsmittelproduktion, sondern für Weideflächen und Anbau von Tierfutter verwendet.⁸

Zur Frage, welche Rolle Bioenergie in der Umsetzung der Ziele von Paris zur Stabilisierung des Klimas spielen kann und muss, gab es viel **Diskussionsbedarf über negative Emissionen**. Es herrscht Uneinigkeit über die notwendigen Schritte, insbesondere zwischen denjenigen, die Probleme gerne mittels Technik lösen wollen und denjenigen, die Probleme durch einen gesellschaftlichen Wandel beheben möchten. Unter Berufung auf den im Herbst erscheinenden Sonderbericht des Weltklima-Rates waren einige Teilnehmende der Überzeugung, dass es selbst für das 1,5°C-Ziel Szenarien gibt, die durch rein natürliche Lö-

Bioenergie CO₂-neutral?

In der Diskussion um die Bioenergienutzung kamen mehrfach Fragen zum Thema CO₂-Neutralität auf. Dabei stand vor allem im Fokus, ob es überhaupt CO₂-neutrale oder gar CO₂-negative Produkte geben kann, sobald sich der gesamte Lebenszyklus angeschaut wird.

Im Dialog wurde festgehalten, dass die Bewertung der Bioenergienutzung als Möglichkeit zur Emissionsminderung zum einen von den betrachteten Zeiträumen und zum anderen von den Konventionen der Bilanzierung abhängt.

Bsp. Waldholz: Bei der Verbrennung von Holz wird CO₂ freigesetzt, welches unter der Annahme, dass es durch den nachwachsenden Wald wieder ‚eingefangen‘ wird, ‚neutralisiert‘ wird. Die Emissionen werden also tendenziell erst in der Zukunft neutral.

Geklärt werden müssen demnach die Fragen: Welcher CO₂-Wert wird der Biomasse selbst zugeordnet: Ist sie CO₂-neutral oder falls nicht, welchen CO₂-Wert hat sie?

sungen (Renaturierung von Ökosystemen, u.a.) das Ziel erreichen. Andere vertraten die Meinung, dass das 2°C-Ziel auch ohne Kohlenstoffentnahme erreicht werden kann, wenn nur der Eintrag in die Atmosphäre stärker reduziert wird. Wieder andere waren der Überzeugung, dass die Ziele nur mit technischen Lösungen zur CO₂-Entnahme, wie z.B. BECCS, eingehalten werden können.

Allgemein, wurde von einem Teilnehmer angemerkt, dass der Temperaturanstieg von 1,5°C voraussichtlich schneller erreicht wird als bisher angenommen. Daher sei eine völlig neue Diskussion über den Klimaschutz notwendig. Vor diesem Hintergrund wurde betont, dass die heutigen Einsparungen von Emissionen einen höheren Beitrag zur Einhaltung der Pariser Ziele leisten als zukünftige Maßnahmen. Auch wenn es vielversprechende Forschung

⁸ Rogner et al. (2012): Chapter 7 - Energy Resources and Potentials, abrufbar unter http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter7_resources_lowres.pdf.

zur Senkung von CO₂ gibt, bleibt der Handlungsdruck bestehen, dass Emissionen bereits heute nachhaltig gesenkt werden müssen, wofür Energieeinsparungen von hoher Bedeutung sind. Dennoch sei es wichtig, über Maßnahmen und über die Welt von 2050 oder 2100 zu reden und über den Weg dorthin.

Die langfristige Perspektive wurde auch von Seiten der Wissenschaft als Basis genutzt, um zu erläutern, warum es bereits heute wichtig ist, über CO₂-Entnahmen zu diskutieren:

„Es ist wichtig hervorzuheben, dass CO₂-Entnahme und Einlagerungstechnologien beim Klimaschutz keinen Ersatz für die Vermeidung von Treibhausgasemissionen darstellen können, sondern diese ergänzen. Der Hauptfokus muss auf der Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch Reduktion des Energieverbrauchs und auf einer Abkehr von fossilen Energieträgern liegen. Doch selbst extrem optimistische Szenarien prognostizieren für das Jahr 2050 und darüber hinaus für Deutschland unvermeidbare Emissionen in Höhe von mindestens 60 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Etwa 70 % davon stammen aus der Landwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft, ein Viertel aus der Industrie und etwa fünf Prozent aus Abfall und Abwasser“.⁹

Aus der Zivilgesellschaft kam die Frage wie mit dem Postulat der Technologieoffenheit einerseits und dem Vorsorgeprinzip andererseits umgegangen wird. Welche Überlegungen werden hierzu angestellt und wie können die Ziele der Biodiversitätskonvention erfüllt werden: Erhaltung der biologischen Vielfalt, nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile und gerechte Vorteilsausgleich aus der Nutzung genetischer Ressourcen.¹⁰

Ebenfalls wurde angemerkt, dass sich im Zuge der Diskussionen um die Bioenergie und negative Emissionen viele Herausforderungen in anderen Bereichen, insbesondere der Ernährung und Landwirtschaft, kristallisieren. Es sei aber schwierig, so ein Teilnehmer, „aus dem Energiesystem die Landwirtschaftsprobleme zu lösen“ (Politik & Verwaltung).

2.3 Bioenergie: Chancen nutzen, Risiken eindämmen

2.3.1 Potenziale

Eines der größten Probleme einer nachhaltigen Bioenergiestrategie ist, dass die Biomaspotenziale für die energetische Nutzung nicht klar sind. Hierzu gab es selbst unter den Experten im Trialog eine Diskussion, obwohl die **Potenzialdebatte** nach Meinung eines

⁹ Impulspapier AG Bioenergie (2018), S. 6 (siehe Annex).

¹⁰ Bundesamt für Naturschutz (2018): Die Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity), abrufbar unter <https://www.bfn.de/themen/biologische-vielfalt/uebereinkommen-ueber-die-biologische-vielfalt-cbd.html>.

Teilnehmers vermeintlich als abgeschlossen gilt. Wie oben angemerkt ist die Betrachtung der Biomassepotenziale in einem nationalen Kontext nicht sinnvoll, da Biomassepotenziale, vor allem die, die von Acker- und Waldflächen kommen, global einzuordnen sind, da sie auch global gehandelt werden. Einzig **Reststoffe** können auch national betrachtet werden (Schätzung für Deutschland: ca. 1000 PJ pro Jahr). Das liegt daran, dass sie minderwertig sind – sowohl was ihren Preis betrifft als auch die Energie, die aus ihnen gewonnen wird. Reststoffe über weite Strecken zu transportieren, ist daher in der Regel wenig sinnvoll.

Hinzu kommt, dass es eine **sehr große Bandbreite bei den mittel- und langfristigen Schätzungen der Biomassepotenziale** gibt.¹¹ Dabei wurde von einem Teilnehmer betont, dass trotz der Bandbreite an Szenarien innerhalb der Diskussion auf die aktuellsten Berechnungen eingegangen werden sollte. Laut der Bioenergie-Roadmap der International Energy Agency 2017 wurde von einer Bioenergienutzung von insgesamt ca. 140 EJ bis 2050 ausgegangen und auch die IPCC-Szenarien gehen in ihrem Ausbaupfad nicht über 250 EJ hinaus.¹²

Der Grund für die große Bandbreite liegt 1) in Datenunsicherheiten, 2) in der Dynamik von Entwicklungen und 3) in unterschiedlichen Bewertungen. Datenunsicherheiten sind ein Grundproblem von Potenzialstudien, ebenso der Punkt, dass sich alle Szenarien und Berechnungen auf Wahrscheinlichkeiten stützen. Diese sind auf dynamische Entwicklungen zurückzuführen, z.B. wie sich Essgewohnheiten (Fleischkonsum), die Bevölkerung (Wachstum) oder die Ernteerträge (Effektivität der Agrar- und Forstsysteme) verändern. Es kann in Potenzialstudien nicht vorausgesagt werden, wie sich die Forst- und Landwirtschaft nach 2030 entwickeln wird. Zusätzlich bergen künftige Umweltschwierigkeiten und veränderte Klimabedingungen weitere Unsicherheiten. Diese Entwicklungen haben alle Wachstums- oder Veränderungsdaten mit nicht klar vorhersagbaren Auswirkungen bis zum Jahr 2050.

„Daher ist es zentral, Technologiepfade nicht zu verbauen und möglichst heute Emissionen einzusparen, bevor es morgen zu spät ist. Dafür brauchen wir auch die einheimische Biomasse. Was wir erreicht haben, sollten wir nicht hergeben: Zum Beispiel wegen RED II oder anderen Bestimmungen sollten wir bestehende nachhaltige Produktionen von Biokraftstoffen, etwa basierend auf Raps, Mais oder Weizen, nicht wegwerfen. Wo sich Technologien entwickeln und Märkte bewegen, ist der Blick über den Teller- rand und auch über die nächste Mahlzeit hinaus essentiell.“

| WIRTSCHAFT

¹¹ Siehe bspw. für Deutschland Szarka et al. (2017): Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany, abrufbar unter https://ac.els-cdn.com/S1364032116002240/1-s2.0-S1364032116002240-main.pdf?_tid=57bade5c-c46d-4506-b623-b40a1d8b7244&acdnat=1530867772_ff6bf587167d81392465adea6b987d4d.

¹² International Energy Agency (2017): Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy, abrufbar unter http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf; IPCC (2018): Reports, abrufbar unter https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.

Von einem Teilnehmer wurde angemerkt, dass allen Modellen und Szenarien ein konservatives, ökonomisches Weltbild zugrunde liegt. Dadurch wird die Vergangenheit immer wieder erneut abgebildet. Demnach gäbe es kein progressives Szenario, das einen radikalen technischen Wandel, also eine disruptive Entwicklung, beinhaltet. Somit werden für die Diskussion sowie den Entscheidungsspielraum der Politik nicht alle Möglichkeiten adäquat dargestellt und der Optionen-Raum bleibt eingegrenzt. Von einem weiteren Teilnehmer wurde dennoch gefordert, dass die Potenziale einer Bioenergienutzung eindeutig wissenschaftlich identifiziert werden müssen, damit die Politik eine Grundlage für ihre Entscheidungen hat und nicht aufgrund falscher Annahmen mögliche Wege verbaut.

Da die primäre Biomasse oftmals unspezifisch ist und erst im Verlauf der Verarbeitung eine Entscheidung darüber getroffen wird, ob sie stofflich oder energetisch genutzt werden soll, sind in der Diskussion um eine langfristige Bioenergiestrategie diverse Akteure einzubinden. Eine Besonderheit ist zudem, dass Biomasse teilweise auf derselben Fläche Produkte für verschiedene Nutzungsformen liefern kann und somit vielfach einsetzbar ist (z.B. Raps: Öl für Nahrungsmittel/Kraftstoffe, Presskuchen als Eiweißfuttermittel).

„Der Koalitionsvertrag spricht sich klar für Bioenergie und verstärkte Verwertung von Rest- und Abfallstoffen aus. Auch hier sind die zukünftigen Entscheider gefragt die politischen Zielsetzungen dieses Mal zu erfüllen. Sie sehen, die Bioenergie steht nicht vor dem Scheideweg, sondern ist bereits auf dem Wachstumspfad angekommen.“ |

WIRTSCHAFT

Weitere Potenziale für die Bioenergie werden in der Nutzung von **biologischen Rest- und Abfallstoffen** gesehen, insbesondere von Anhängern der biobasierten Wirtschaft. Auch im Dialog wurde den Rest- und Abfallstoffen eine zukünftig wichtige Rolle zugesprochen. In Deutschland belaufen sich die ungenutzten Potenziale gegenwärtig auf ca. 30 %, wie ein Teilnehmer einbrachte.¹³ Als besonderer Vorteil wurde dabei der Einsatz der landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffe, wie bspw. Gülle, in Biogasanlagen gesehen (aktuell rund 20 % der anfallenden Gülle). Somit können die Methanemissionen aus Gülle vermieden, fossile Energieträger zur Energiegewinnung ersetzt und eine erneuerbare Kohlenstoffquelle für die stoffliche Nutzung (Methan in Biogas) bereitgestellt werden. Jedoch wurde angemerkt, dass bei den

Potenzialen der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen Vorsicht geboten ist. So muss bspw. die Nutzung von Holz-Reststoffen differenziert betrachtet werden: Wenn mehr Reststoffe genutzt werden sollen, kann das auch eine ineffiziente Holzverwendung nach sich ziehen. Zudem haben alle Sektoren (Strom, Wärme und Verkehr) ein Interesse an der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen. Das heißt es besteht das Risiko, dass die Begehrlichkeiten größer sind als die Potenziale selbst.

¹³ Siehe auch Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status Quo in Deutschland, abrufbar unter <https://mediathek.fnr.de/broschuren/sammlungen/schriftenreihe-nr/band-36-biomassepotenziale-von-rest-und-abfallstoffen.html>.

Anwendungsbedarfe von Bioenergie werden **vor allem im Wärme und im Verkehrssektor** gesehen, da im Stromsektor vor allem Wind und Sonne Einsatz finden. Im Wärmebereich liegt der Anteil der Biomasse an den THG-Einsparungen durch erneuerbare Energien bei über 90 %; im Strombereich bei ca. 25 %. Daher wurde konstatiert, dass es wohl keine weiteren Zuwächse im Stromsektor durch die Bioenergie (z.B. Biogas) geben wird, sondern eher in den anderen Bereichen. Langfristig gesehen, so ein Teilnehmer, könnte Bioenergie durchaus eine Rolle im Hochtemperaturbereich der Industrie spielen (z.B. Holz). Trotzdem wurde wiederholt geäußert, dass die Ausbaupotenziale – egal in welchem Sektor – begrenzt sind, damit Bioenergie limitiert ist. Ein weiterer Teilnehmer merkte an, dass „aus der Dominanz der Bioenergie im Wärmesektor nicht auf ein unterausgeschöpftes Potenzial geschlossen werden sollte“. Seiner Meinung nach sollte die Nutzung von Bioenergie auch in der Wärmeversorgung mittel- und langfristig restriktiv behandelt werden, da auch andere Quellen und Möglichkeiten zur Dekarbonisierung des Wärmesektors zur Verfügung stünden (Politik und Verwaltung).

Im Verkehrsbereich finden biobasierte Kraftstoffe hauptsächlich Anwendung im Personen- und Güterverkehr. Biokraftstoffe sind bisher die einzige in größerem Maße wirksame Option zur Minderung von Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor. Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 3,3 Millionen Tonnen Biokraftstoffe in den Verkehr gebracht (siehe Abb. 2), mit denen 7,3 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent) vermieden werden konnten.¹⁴

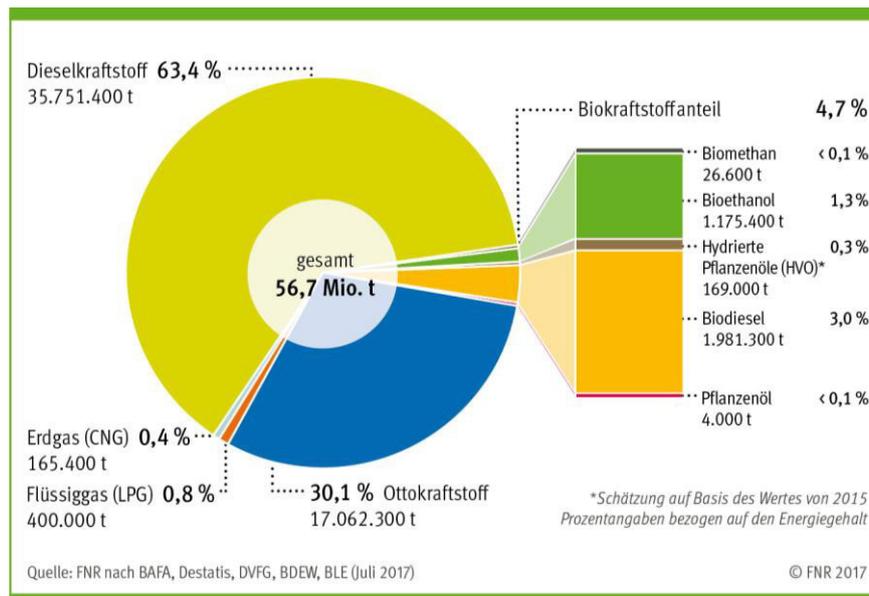
Nach Ansicht eines Teilnehmers sind der Personen- und Güterverkehr bereits in der Phase der Elektrifizierung angekommen. Mittel- und langfristig gesehen werden nach Meinung des Teilnehmers Biokraftstoffe in diesem Bereich obsolet und freigestellt, womit sie für andere Bereiche genutzt werden könnten. Gerade im Bereich der Luft- und Schifffahrt herrscht ein Bedarf an klimaeffizienten Kraftstoffen.¹⁵ Dieser liegt jedoch um ein Vielfaches höher als aktuell im Straßenverkehr eingesetzt wird. In diesem Zusammenhang wurde auch erwähnt, dass es im Koalitionsvertrag zwischen SPD und CDU/CSU ein Bekenntnis für biobasierte und strombasierte Kraftstoffe gibt. Biokraftstoffe müssen eine Mindest-Treibhausgaseinsparung im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen nachweisen. Diese beträgt ab

¹⁴ Dazu FNR 2017: Pressemitteilung Biodiesel und Bioethanol vermeiden 7,3 Mio. t Klimagase, abrufbar unter https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2017&tx_ttnews%5Bmonth%5D=11&tx_ttnews%5Bday%5D=13&tx_ttnews%5Btt_news%5D=10330&cHash=fa1deb36a9f3489f02e8f168055eb1d7.

¹⁵ Der Schiffsverkehr auf den Weltmeeren ist bereits heute für über zwei Prozent der klimaschädlichen globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. 2012 beliefen sich diese auf ca. 940 Millionen Tonnen CO₂. Das sind mehr als die gesamten Emissionen Deutschlands im Jahre 2012 (vgl. UBA (2016): Seeschifffahrt, abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/schifffahrt#textpart-1>).

1. Januar 2018 60 % für neu in Betrieb genommene Biokraftstoffanlagen und 50 % für Anlagen, die bis Oktober 2015 in Betrieb gegangen sind.

Abb. 2: Kraftstoffverbrauch Deutschland 2016 und Anteil Biokraftstoffe



Bezugnehmend auf das Impulspapier der AG widersprach ein Teilnehmer, dass nur bereits genutzte Landflächen für die Produktion von Biomasse zur Energieerzeugung zur Verfügung stehen. Er sieht ein weiteres Potenzial der Biomassebereitstellung in der **Wiederbegrünung degradierter Flächen** durch Ölpflanzen. Dadurch könne bspw. der Wüstenausbreitung entgegengewirkt und somit sogar Fluchtursachen-Bekämpfung betrieben werden. Ebenfalls die Wiedernutzbarmachung von marginalen Flächen, die gegenwärtig eine schlechte Ertragslage haben, könnten durch die Bereitstellung von Energiepflanzen aufgewertet werden. Dabei muss jedoch auch immer die Frage gestellt werden, wie viel Geld wir bereit sind dafür zu bezahlen, damit diese Flächen aufgewertet werden und wieder in die Nutzung kommen.

Zusätzlich gibt es auch Forschungsanstrengungen, um Biomassepotenziale durch weitere biologische Rohstoffe wie bspw. durch Algen und Mikroben zu steigern. Die zu vermutenden Potenziale wurden jedoch auf dem Dialog nicht näher diskutiert.

Grundsätzlich wurde angemerkt, dass die Bioenergienutzung unbedingt im Kontext der **Bioökonomie** betrachtet werden sollte. Dort gibt es die Prämisse, dass zunächst die Ernährungssicherung Priorität vor anderen Nutzungsformen hat. Bioenergetische Nutzung wird entsprechend begrenzt gesehen und meist beschränkt auf Reststoffe und Abfälle. Im Dialog wurde moniert, dass das Thema Bioenergie von der AG nicht stärker eingebettet wurde

in die übergeordnete Debatte zur Bioökonomie. Die Arbeitsgruppe erläuterte dazu, dass sie bewusst einen Fokus auf das Thema CCS gesetzt hat, um die Potentiale eines weiteren Elementes der Klima- und Energiepolitik von morgen auszuloten.

2.3.2 Risiken und Trade-offs

Trotz der vielen genannten Vorteile und Potenziale, die der Bioenergie zugeschrieben werden, stehen ihrer Nutzung auch erhebliche Risiken und Trade-offs gegenüber. Gerade zur vollständigen Erfassung der Anforderungen an eine nachhaltige Bioenergienutzung müssen diese mit all ihren gesellschaftlichen, ökologischen, politischen und technischen Implikationen beachtet werden. Bei der Produktion von Biomasse für Bioenergie gibt es verschiedene Risiken und Trade-offs, wie z.B. Landnutzungsänderungen (direkt und indirekt), Flächenverfügbarkeit, verschiedene Nutzungskonkurrenzen, soziale Folgen sowie negative Auswirkungen auf die Biodiversität. Im Folgenden werden die Risiken und Trade-offs aufgeführt, die von der Teilnehmergruppe explizit genannt und diskutiert wurden.

- **Landnutzungsänderungen**

Allgemein bezeichnen Landnutzungsänderungen den Vorgang der Umnutzung einer Fläche, z.B. Grünlandumbrüche oder Abholzung von Wäldern, um diese Flächen anderen Nutzungen bereitzustellen. **Durch die für die Umnutzung notwendigen Umbruchvorgänge können im Boden gespeicherte Stoffe wie Kohlenstoff als Kohlendioxid in die Atmosphäre entweichen.** Diese Effekte haben eine Auswirkung auf die Ökobilanz der auf diesen Flächen angebauten Produkte. Wird also Biomasse auf diesen Flächen angebaut und bspw. für die Nutzung als Biokraftstoff verwendet, wird das Treibhausgaseinsparungspotential der Biokraftstoffe gemindert. Landnutzungsänderungen lassen sich unterteilen in **direkte und indirekte Landnutzungsänderungen.**

Direkte Landnutzungsänderungen bezeichnen die unmittelbare Umnutzung einer Fläche. Ein Beispiel hierfür sind Umbruchvorgänge von Waldflächen zum Anbau von Raps zur Biodieselproduktion. Bei indirekten Landnutzungsänderungen werden natürliche Flächen (z.B. Wälder) in landwirtschaftliche Nutzflächen zur Produktion von Nahrungsmitteln umgewandelt, die bspw. an anderer Stelle für den Anbau von Biomasse zur Energiebereitstellung verdrängt wurden. Diese indirekten Landnutzungsänderungen können global auftreten und sind nicht direkt messbar, weshalb die Schätzung ihrer Ausmaße schwierig ist.

Ein Teilnehmer mahnte an, dass kurzfristige Änderungen von Nutzungsansprüchen aufgrund von Nachfrageerhöhungen oftmals ad-hoc realisiert werden „auf Kosten der Urwälder, auf Kosten der Landrechte und auf Kosten der Nachhaltigkeit insgesamt“ (Politik & Verwaltung). Ein anderer Teilnehmer machte darauf aufmerksam, dass Landnutzungsänderungen auch positive Auswirkungen haben können, z.B. wenn marginale, ungenutzte und verwüstete Flächen wieder in die Begrünung gebracht werden.

Für die ILUC-Diskussion spielt folglich die Verfügbarkeit von Flächen eine wichtige Rolle.

- **Flächenverfügbarkeit**

Die **Flächenverfügbarkeit stellt eine gravierende Restriktion** für den Ausbau der Bioenergie dar. Denn bereits heute werden weltweit Flächen erheblich genutzt für Nahrungs- und Futtermittel, zur Bereitstellung von Brennstoff und Baumaterial. Nur noch kleinere Teile der weltweiten Flächen sind ungenutzte Wälder oder extensive Weideflächen. Die Flächen sind also der begrenzende Faktor für die Bioenergie-Nutzung und eine globale Perspektive ist für die Potenzialbetrachtung notwendig.

Vor diesem Hintergrund wurde betont, dass es gar nicht genügend Biomasse gäbe bzw. produziert werden könne, um nennenswerte Mengen fossiler Rohstoffe im Wärme- und Verkehrsbereich einzusparen. Ebenfalls seien die Biomassepotenziale überzeichnet und das Interesse der verschiedenen Sektoren an ihnen deutlich größer. Eine weiter steigende Nutzung von Bioenergie damit zu rechtfertigen, dass sie flexibel eingesetzt werden kann, weicht der Diskussion um die nachhaltig verfügbaren Mengen aus, die sich durch diese Eigenschaft nicht erhöhen.

- **Nutzungskonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion**

Aufgrund der Begrenztheit der Flächen wurde die **Nutzungskonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion** als schwerwiegendes Problem gesehen (Teller-Tank-Diskussion). Gerade im Hinblick auf die wachsende Weltbevölkerung und ihren Nahrungsmittelbedarf – speziell auch den Fleischkonsum – stellt sich die Frage nach der Vertretbarkeit einer steigenden Bioenergienutzung.

Ein Teilnehmer legte jedoch nahe, dass in der komplexen Diskussion zu Nutzungskonkurrenzen keine falschen Behauptungen aufgestellt werden sollten, die eventuell gesellschaftspolitisch falsche Entscheidungen befördern. Er kritisierte konkret im Impulspapier die These, dass jede Entnahme von Biomasse zur Bioenergieproduktion nicht mehr für andere Nutzungsformen zu Verfügung steht¹⁶. Er begründete seine Kritik mit dem Beispiel, dass bspw. Raps Öl für die Bioenergieproduktion und gleichzeitig durch den

„Wenn der Rapsanbau zur Produktion von Biodiesel erheblich eingeschränkt wird, kann auch das Koppelprodukt Rapspresskuchen als hochwertiges und gentechnikfreies Eiweißfutter nicht entstehen. Dadurch muss der Eiweißfuttermittelimport erheblich gesteigert werden. Gängige Praxis ist Sojafuttermittelimport aus Südamerika. Die Folge ist, dass der Druck auf Regenwälder steigt, weil Futtermittel keine Nachhaltigkeits-Zertifizierung haben.“ |

ZIVILGESELLSCHAFT

¹⁶ vgl. Impulspapier AG Bioenergie (2018): S. 2

Presskuchen ein Futtermittel liefern.¹⁷ Ein weiterer Teilnehmer unterstützte das Argument der Doppelnutzung.

- **Soziale Folgen**

Eng verbunden mit der Frage der Flächenverfügbarkeit sind soziale Aspekte: zwar birgt die Möglichkeit der Wiederbegrünung oder Wiedernutzbarmachung degradierter Flächen durch Energiepflanzen neue Potenziale, allerdings sei Vorsicht geboten bei der Bestimmung dieser Flächen, wie ein Teilnehmer der organisierten Zivilgesellschaft einbrachte. Oftmals sind diese Flächen nicht als Nutzflächen im Sinne einer marktwirtschaftlichen Perspektive erfasst. Sie werden mitunter jedoch von Menschen, insbesondere der indigenen Bevölkerung genutzt, z.B. in Lateinamerika oder Afrika.

Werden die aus marktwirtschaftlicher Sicht „ungenutzten Flächen“ dann in Nutzflächen umgewandelt, kann das soziale Folgen haben, wie z.B. die Verdrängung der Menschen, die dort bisher gelebt und Landwirtschaft betrieben haben. Diesen Punkt ergänzte ein weiterer Teilnehmer, dass genau darin die Aufgabe bestünde: Die sozialen Implikationen müssen beachtet werden. Das kann aber auch bedeuten, dass die „neue“ Nutzung solcher Flächen auch Möglichkeiten biete, die Lebensräume durch Wiederansiedlung mit kleinbäuerlichen Strukturen zu organisieren (genossenschaftliche Gewinnungsmethoden) und somit zur Armutsbekämpfung beizutragen. Die Wiederaufbereitung degradierter Flächen könne in Kooperation mit der dort lebenden Bevölkerung ein wichtiger Transformationsprozess sein, der zum Erhalt deren Lebensgrundlage beiträgt.

- **Biodiversität**

Ein weiteres Spannungsverhältnis, das mit den direkten und indirekten Landnutzungsänderungen durch Steigerung der Biomasseproduktion einhergeht (z.B. durch den Einsatz von Monokulturen), besteht hinsichtlich der Biodiversität. **Grünland** gehört bspw. in all seinen Ausprägungen zu den artenreichsten Biotopen Mitteleuropas und beherbergt in **Deutschland 52 % des Artenbestandes**. Jedoch befindet es sich auf dem Rückzug; allein von 2003 bis 2008 bundesweit um vier Prozent. Dafür mitverantwortlich ist der Ausbau der Bioenergie. Das Problem ist, dass die Intensivierungen der Landwirtschaft auf Agrarflächen sowie die energetische Nutzung von Grünlandflächen stark in den Naturhaushalt eingreifen. Folgen sind z.B. Verengung von Fruchtfolgen, Monokulturen, Entnahme ökologisch funktionaler Biomasse oder ein verstärkter Pestizideinsatz. Global betrachtet sind die

¹⁷ Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie (2018): Herstellung, abrufbar unter <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/herstellung.html>.

Risiken für die Biodiversität noch weitaus größer (Bsp. Schutz der artenreichen Regenwälder).¹⁸

Es wurde darauf hingewiesen, dass einige Herausforderungen, die im Rahmen der Bioenergie-debatte auftauchen, vielmehr grundlegende Probleme der Land- und Forstwirtschaft sind. **Die Energiewirtschaft kann jedoch nicht die Probleme der Landwirtschaft lösen.** Vielmehr muss auch in der Land- und Forstwirtschaft ein Transformationsprozess erfolgen, der mitunter schon angestoßen ist. Wenn dieser als Zielkanon verstanden wird, können Synergien neuer Erkenntnisse und Lösung gut genutzt werden.

- **Nord-Süd Trade-off**

Neben den genannten Risiken, negativen Effekten und Trade-offs wurde im Dialog ein weiterer Aspekt der Bioenergienutzung angesprochen. In vielen Ländern der südlichen Halbkugel ist die ländliche Bevölkerung auf Bioenergie angewiesen, z.B. zur Nahrungszubereitung. Hingegen können die Menschen in Europa sogar zwischen verschiedenen Formen der Energiebereitstellung auswählen und Bioenergie wird vielfach für „Luxuszwecke“ (Kaminöfen, Holzkohlegrill, usw.) genutzt. Der dadurch notwendige Import von Holzkohle (2015: 227 000 Tonnen mit einem Wert von 96,8 Mio. Euro) hat andernorts illegalen Holzeinschlag und Entwaldung zur Folge.¹⁹

Dieses Beispiel verdeutlicht nochmals, dass Trade-offs und Risiken der Bioenergienutzung nur global bewertet und entschieden werden können. Trade-offs, wie Ernährungsgewohnheiten oder auch Wasser bzw. Wasserverbrauch, die auf den ersten Blick nicht direkt in Verbindung mit dem Einsatz von Bioenergie gebracht werden und auch im Dialog nicht diskutiert wurden, müssen dafür zuallererst explizit gemacht werden.

2.4 Optionen für negative Emissionen

2.4.1 Vorstellung der Optionen

Um die Erderwärmung wie im Pariser Klimaschutzabkommen vereinbart unter 2°C oder möglichst sogar bei 1,5°C zu halten, müssen die **Nettotreibhausgasemission in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auf null** zurückgefahren werden. Aktuell wird davon ausgegangen, dass dies nur möglich ist, wenn es ein **Zusammenspiel von CO₂-Vermeidung und CO₂-**

¹⁸ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (2015): Biodiversität und Energie, abrufbar unter <https://www.ufz.de/index.php?de=36058>.

¹⁹ Statistisches Bundesamt (2016): 227 000 Tonnen Holzkohle zum Grillen im Jahr 2015 importiert, abrufbar unter https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/zdw/2016/PD16_26_p002.html.

Entnahme aus der Atmosphäre gibt.²⁰ Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Technologien, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen und somit negative Emissionen zu schaffen.

Tab. 1: Optionen zur CO₂-Entnahme

Verfahren	Wie funktioniert es?
„Biologische“ Optionen	
Aufforstung	Bäume nehmen CO ₂ aus der Atmosphäre auf und speichern den Kohlenstoff im Holz. Durch Ernte von Holz und Verbauen in langlebigen Produkten kann das Potenzial erhöht werden.
Biokohle	Verkohlte Biomasse wird in den Boden eingearbeitet. Durch die Verkohlung wird die Verrottung verhindert. Der Kohlenstoff wird daher nicht (oder erst nach sehr langer Zeit) wieder als CO ₂ freigesetzt. Die langfristige Stabilität der Biokohlen wird derzeit erforscht.
Restaurierung und Renaturierung mariner Habitats	Ökosysteme wie Moore oder Mangrovenwälder speichern viel Kohlenstoff in Vegetation und Boden. Ihre Wiederherstellung kann auch zum Erhalt der Artenvielfalt beitragen. Kurzfristig könnten allerdings zusätzliche Methan- und Stickoxidemissionen die Erderwärmung verstärken.
Soil Carbon Sequestration/ Kohlenstoffspeicherung im Boden	Durch Aufforstung oder den Anbau bestimmter Kulturpflanzen wird die Kohlenstoffspeicherung im Boden erhöht.
Ozean Düngung	Gezielt wird Eisensulfat als Dünger des Meeres eingesetzt. Dadurch soll eine großflächige Algenblüte erzeugt werden, die CO ₂ bindet und es nach ihrem Absterben zum Meeresboden befördert. ²¹
„Technische“ Optionen	
Direct-Air-Capture	CO ₂ wird mithilfe von chemischen Bindemitteln aus der normalen Umgebungsluft entfernt und unterirdisch eingelagert. Da die Konzentration des CO ₂ in der Luft gering ist, ist der Energiebedarf relativ hoch. Ein Vorteil ist, dass kein Ackerland benötigt wird.
Enhanced Weathering	Natürliche Mineralien reagieren mit CO ₂ und binden auf diese Weise den Kohlenstoff im Gestein. Um die Reaktion zu beschleunigen, werden die Mineralien fein zermahlen und großflächig verteilt.
Bioenergie mit CCS (BECCS)	Pflanzen nehmen CO ₂ auf und wandeln es mithilfe von Sonnenlicht in energiereiche Kohlenstoffverbindungen um. Diese werden zur Energiegewinnung verbrannt, das dabei entstehende CO ₂ wird abgetrennt und unterirdisch eingelagert.

Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Impulspapier AG Bioenergie (2018).

²⁰ Impulspapier AG Bioenergie (2018), S. 6 (siehe Annex).

²¹ Klimaretter (2018): Umweltverbände gegen Ozeandüngung, abrufbar unter <http://www.klimaretter.info/forschung/nachricht/24445-umweltorganisationen-gegen-ozeandueungung>.

Unterschieden werden kann dabei in eher „biologische“ Optionen, wie Aufforstung, Bio-kohle, Soil Carbon Sequestration, Restaurierung und Renaturierung und eher „technische“ Optionen wie Direct-Air-Capture, Enhanced Weathering und Bioenergie mit CCS (vgl. Tabelle 1). Eine der größten Herausforderungen liege jedoch darin, so eine Teilnehmerin, dass unabhängig davon mit welchem Mittel, relativ bald damit begonnen werden muss CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen, um das CO₂-Budget nicht zu überschreiten. Es reiche nicht aus erst im Jahr 2080 damit zu beginnen, um 2100 einen Nettoeffekt zu haben. Damit einher geht auch die Tatsache, dass es perspektivisch bis 2050 oder 2100 nicht nur um die Dekarbonisierung der Straße, sondern auch um die Dekarbonisierung der Luftfahrt geht. Der Einbezug dieses Bereichs stellt wiederum neue Anforderungen an eine Bioenergienutzung.

Von den Teilnehmenden wurde betont, dass in der Diskussion um negative Emissionen immer im Auge behalten werden sollte, wo genau die Emissionen sind, die nicht anders verringert werden können. Genau für diese Emissionen sind dann Lösungen für negative Emissionen zu entwickeln. Nicht erstrebenswert sei eine Entwicklung dahin, dass Anstrengungen zur Emissionsminderung reduziert werden, da davon ausgegangen wird, dass irgendwann grundsätzlich alle Emissionen aus der Atmosphäre gezogen werden können.

- **Aufforstung**

Eine Option, die sehr **viel Zuspruch im Dialog** bekommen hat, ist die (Wieder-)Aufforstung. Durch die neu gepflanzten Bäume kann mehr CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen werden, welches wiederum im Holz gespeichert wird. Des Weiteren kann durch die Ernte des Holzes und das Verbauen in langlebigen Produkten (z.B. in Möbel, im Bau) eine dauerhafte Speicherung erreicht werden. Allein in Deutschland binden Wälder sowie langlebige Holzprodukte etwa 60 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Daher merkte ein Teilnehmer (Politik und Verwaltung) an, dass die (Wieder-)Aufforstung das „Gebot der Stunde“ sei.

Es wurde unterstrichen, dass natürliche Verfahren zur Senkung von CO₂ oftmals positive Nebeneffekte haben. So wurde auf Haiti bspw. Aufforstung betrieben, was wiederum zu einem Wald und besseren Böden geführt hat. Das hatte wiederum Auswirkungen darauf, dass mehr Holzkohle zur Nahrungszubereitung zur Verfügung stand und auch wieder Lebensmittel angebaut werden konnten.²²

²² Siehe Projekte wie „Waldgärten für kleinbäuerliche Familien“, abrufbar unter <https://entwicklungshilfeklub.at/projekte/ein-stueck-paradies/>.

Kontrovers diskutiert wurde die Bedeutung der Waldbewirtschaftung für die Kohlenstoffbilanz eines Waldes.²³ Im Impulspapier der AG Bioenergie wird unterstrichen, dass sich langfristig im Wald ein Gleichgewicht zwischen CO₂-Aufnahme (Wachstum) und CO₂-Abgabe einstellt.²⁴ Da die Wälder in Deutschland mit knapp 80 Jahren noch sehr jung sind, entgegnete eine Teilnehmerin, dass sie für viele Jahrzehnte oder „sogar für ein bis zwei Jahrhunderte problemlos Kohlenstoff aufnehmen können“.

Unabhängig davon, ob aufgeforstet wird oder nicht merkte eine Teilnehmerin an, dass vor allem der Umgang mit Holz und Holzprodukten, wie z.B. Papier und Pappe, wichtig sei. Dieses werde momentan hauptsächlich kurzlebig verwendet bzw. verschwendet.

- **Biokohle**

Die Idee hinter dem Biokohle-Ansatz ist, dass verkohlte Biomasse in den Boden eingearbeitet und damit der Kohlenstoff über eine lange Zeit im Boden gespeichert wird. Zusätzlich soll sich die Biokohle positiv auf die Böden auswirken, was allerdings in aktuellen Studien nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte.²⁵ Unterschieden werden kann dabei in HTC-Biokohle und Pyrokohle. HTC-Biokohle wird durch die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) hergestellt; Pyrokohle mittels Biomasse-Pyrolyse. Beide Verfahren haben das Ziel, die energetische und stoffliche Effizienz zu erhöhen, Abfallstoffe zu reduzieren und eine zusätzliche Wertschöpfung durch Nebenprodukte zu schaffen. Ein Vorteil der hydrothermalen Carbonisierung ist, dass wasserreiche Biomasse direkt, ohne vorhergehende Trocknung, eingesetzt werden kann.

In einem der Workshops **gingen die Meinungen bezüglich des Potenzials von Biokohle auseinander**. Auf der einen Seite wurde sie als eine schnelle Chance gesehen, um viel Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu ziehen. Ebenfalls, so ein Teilnehmer, könnten mit Hilfe von Biokohle marginale Flächen wiederbegrünt und Humusaufbau erreicht werden. Somit würde nicht nur eine Kohlenstoffsенke geschaffen, sondern durch die Wiedernutzung der Flächen auch Armut und Hunger bekämpft werden.

Andererseits wurde gefragt, wie viel Biomasse eigentlich für die Herstellung von Biokohle benötigt wird und, wo diese angebaut werden soll, wenn die Flächen bereits der begrenzende Faktor für Bioenergie sind? Festgehalten wurde, dass es dafür Regularien braucht und es vor allem keinen reinen Anbau von Monokulturen geben darf. Momentan sei die

²³ Siehe auch Greenpeace/Ökoinstitut (2018): Waldvision – Ideen für eine ökologischere Waldwirtschaft, abrufbar unter <http://www.waldvision.de/>.

²⁴ Impulspapier AG Bioenergie (2018), S. 7 (siehe Annex).

²⁵ Siehe z.B. Umweltbundesamt (2016): Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden, abrufbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_04_2016_chancen_und_risiken_des_einsatzes_von_biokohle.pdf.

Forschung noch am Anfang. Jedoch wisse man bereits, dass bspw. Holz dafür nicht geeignet sei. Dafür wäre Problemorganik (Klärschlamm, Algen) vielfach vorhanden.

HTC-Biokohle, ebenso wie die meisten anderen Optionen zur Senkung von CO₂, wird derzeit noch auf ihre Chancen und Risiken erforscht. Neben den bereits genannten Chancen verweisen einige Studien auch auf Risiken: Verluste an Bodenfruchtbarkeit, Gefahr der Kontamination und unsichere C-Bindung, Verminderung von Wachstum und Keimung, Problem des schlecht abbaubaren, gelösten organischen Kohlenstoffs in den HTC-Prozess-Abwässern, Mehremissionen von Lachgas nach N-Düngung auf mit HTC-Kohle angereicherten landwirtschaftlichen Böden, Gefahr der erneuten Kohlenstofffreisetzung, usw. Pyrokohle scheint insgesamt günstigere Eigenschaften aufzuweisen. Sie hat jedoch den Nachteil, dass für sie andere Technologien und vor allem Rohstoff-Beschaffenheiten benötigt werden, die diesen Stoffstrom anderweitig problematisch machen.

- **Restaurierung und Renaturierung mariner Habitats**

Im Dialog wurde der Schutz von bestehenden Mooren (Moorbodenerhalt), die Renaturierung von Moorböden (Wiedervernässung) und der Anbau von Paludi-Kulturen auf Mooren (zur Biomasse-Nutzung) als großes Potenzial zur CO₂-Speicherung sowie -Minderung von Emissionen betrachtet. Mooregebiete sind enorme Kohlenstoffspeicher. Wenn aber Moorböden entwässert und in die ackerbauliche Nutzung überführt werden, gelangt über Zersetzungsprozesse Kohlendioxid in die Atmosphäre. Entsprechend besteht aus Klimaschutzsicht ein großes Interesse daran, Moore zu erhalten und zu schützen.

Ehemalige Moore können durch Wiedervernässung wieder aufhören, CO₂ zu emittieren. Inwieweit sie darüber hinaus durch Torfaufbau CO₂ aufnehmen (also wieder zur CO₂-Senke werden) ist unsicher. Eine Wiedervernässung muss nicht mit der Aufgabe jeglicher Nutzung einhergehen. Durch den Anbau von Paludi-Kulturen (z.B. Schilf- und Torfmoore) kann sogar weiteren THG-Emissionen, durch die energetische und stoffliche Verwertung der Biomasse, entgegengewirkt werden.²⁶

Die Wiedervernässung von Mooren wurde von vielen Teilnehmenden als wichtige Klimaschutzmaßnahmen angesehen. Allerdings stößt sie auf wirtschaftliche Interessen, insbesondere dort wo landwirtschaftlich produziert wird.²⁷

²⁶ Durch die Wiedervernässung der Waldmoorböden – etwa 244.000 Hektar Wald (2,3 % des Waldes) – würde sich nach einer konservativen Einschätzung des IPCC ein Emissionsvermeidungs- und Senkenpotenzial von 2,2 t CO₂ pro ha und Jahr ergeben (vgl. Deutscher Bundestag (2016): Statistische Angaben zu Treibhausgasen aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft, abrufbar unter <https://www.bundestag.de/blob/459034/6e4108a96aa55c9940a3da82bb133f5a/wd-5-068-16-pdf-data.pdf>).

²⁷ Siehe hierzu bspw. die Klimastrategie 2.0 des Deutschen Bauernverband 2018, S.25f., abrufbar unter <https://media.repro-mayr.de/76/710876.pdf>.

- **Soil Carbon Sequestration und Wiederbegrünung**

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion von CO₂ ist der Prozess der Kohlenstoffbindung in Böden. Dies kann bspw. dadurch geschehen, dass Äcker mit humusmehrenden Fruchtfolgen bepflanzt werden. Durch den Einsatz spezieller Pflanzen kann so ein Bodenaufbau und eine Steigerung des Humusgehalts erreicht werden. Dadurch wird zum einen CO₂ gespeichert und zum anderen kann Biomasse angepflanzt werden.

In diesem Kontext wurde auch das „Greening“ in der Landwirtschaft als eine gute Maßnahme erwähnt, bspw. durch ökologische Vorrangflächen, Blühstreifen und Abstandsflächen oder klimafreundliche Fruchtfolgen. Auch das Konzept der Agroforstwirtschaft fand Zuspruch in einem der Workshops. Darunter wird ein Landnutzungssystem verstanden, das Elemente der Forstwirtschaft mit denen der Landwirtschaft und/oder Tierhaltung kombiniert. Es werden z.B. sowohl mehrjährige Hölzer als auch einjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen auf derselben Fläche integriert.²⁸ Dadurch können ökologische Vorteile entstehen wie Biodiversität, verringerte Bodenerosion, negative Emissionen und Erhalt der Artenvielfalt.

- **Enhanced Weathering und Ozeandüngung**

Beim Enhanced Weathering geht es darum den natürlichen Effekt, dass Felsgestein verwittert und durch chemische Reaktionen der Atmosphäre CO₂ entzieht, zu nutzen. Das CO₂ gelangt über Flüsse in die Ozeane und wird so über lange Zeit aus dem aktiven Kreislauf entfernt. Dieser natürliche und sehr langsame Prozess kann beschleunigt werden, indem geeignete Minerale, zum Beispiel aus vulkanischem Gestein, zu feinem Gesteinsmehl zermahlen und auf Äcker und Ozeane verteilt werden.

Bei der Ozeandüngung soll durch die Zugabe von Eisenverbindungen in die Meere großflächig Algenblüten erzeugt werden, die CO₂ binden und nach ihrem Absterben, dieses auf den Meeresboden befördern, wo es gespeichert wird. Allerdings werden damit erhebliche Nebeneffekte, insbesondere auf die Ökosysteme, erzeugt.

Sowohl auf die Option des Enhanced Weathering als auch auf die Ozeandüngung wurde im Dialog fast nicht eingegangen. Einzig in einem der Workshops wurde die Ozeandüngung, mit dem Ziel mehr Kohlenstoff im Meer zu speichern, von der Mehrheit der Teilnehmenden als negativ bewertet.

²⁸ Vgl. Agroforst Info (2018): Was ist Agroforstwirtschaft?, abrufbar unter <https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/>.

- **Direct-Air-Capture (DAC)**

Beim Direct-Air-Capture wird das CO₂ mit Hilfe von chemischen Bindemitteln aus der normalen Umgebungsluft entfernt und unterirdisch einlagert. Der Vorteil von DAC ist, dass kein Ackerland oder große Landflächen dafür benötigt werden. Jedoch ist die Technik sehr teuer und mit hohen Energiekosten verbunden. Eine Möglichkeit wäre, dass DAC mit Überschussstrom aus Wind- und Solaranlagen betrieben wird. In einem solchen Szenario wurde DAC von einer Teilnehmerin als Alternative für BECCS gesehen.

- **Bioenergie mit CCS (BECCS)**

Bioenergie mit CCS, kurz BECCS, als eine weitere Option zur CO₂-Entnahme war eines der Schwerpunktthemen des Trialogs. Daher widmet sich dem Thema ein eigenes Kapitel (siehe Kapitel 2.4.4).

2.4.2 Diskussion der Bedeutung negativer Emissionen

In der Diskussion der verschiedenen Optionen für negative Emissionen hat sich gezeigt, dass die eher „biologischen“ Optionen der Landnutzung positiver bewertet wurden. Mehrfach wurde betont, dass ihre gesellschaftliche Akzeptanz sehr hoch sei. Im Gegensatz zu den eher „technischen“ Optionen war bei den meisten „biologischen“ Optionen nicht die zentrale Frage, ob diese verfolgt werden sollten, sondern eher, was zu beachten ist und wie groß schlussendlich das Klimaschutz-Potenzial dieser Optionen ist. Dennoch betonten einige Teilnehmende, dass angesichts des verbleibenden Kohlenstoffbudgets auf keine der möglichen Optionen verzichtet werden sollte.

Ein Teilnehmer merkte an, dass es **paradox sei, sich über Optionen für negative Emissionen zu beratschlagen, wenn gleichzeitig tagtäglich CO₂ durch den Braunkohleabbau** und die Nutzung von Kohlekraftwerken in die Atmosphäre gelangt. Die Diskussion über negative Emissionen in mittel- und langfristiger Perspektive darf nicht davon ablenken, dass das oberste Ziel sein muss, zuerst die großen Emittenten abzubauen und ehemalige Kohlenstoff-Speicher, wie z.B. Braunkohlefelder, zu bewahren.

Grundsätzlich wurde gefragt auf Basis welcher Annahmen und Szenarien weitere Optionen der Dekarbonisierung entschieden werden sollten: konservativ, d.h. den bisherigen Allokationslogiken und Technologien folgend oder eher progressiv, d.h. die Möglichkeit von Disruptionen und vollkommen neuer Wege einbeziehend. Vor diesem Hintergrund betonte ein Teilnehmer, dass Szenarien nicht nur deterministisch betrieben werden können. Weiter kritisierte er, dass eine aktive explorative Suche nach alternativen Optionen bisher fehle – was könnte anders gemacht werden und was wären die Implikationen? Es wurde nahegelegt, **visionärer und integrativer zu denken**. In der Wüste Gobi entstehe bspw. derzeit eine gigantische PV-Anlage. Im Schatten solcher PV-Anlagen könne mit Tröpfchen-Bewässerung auch Begrünung erreicht werden, so dass weitere Biomasse für Nahrung und Kraftstoffe

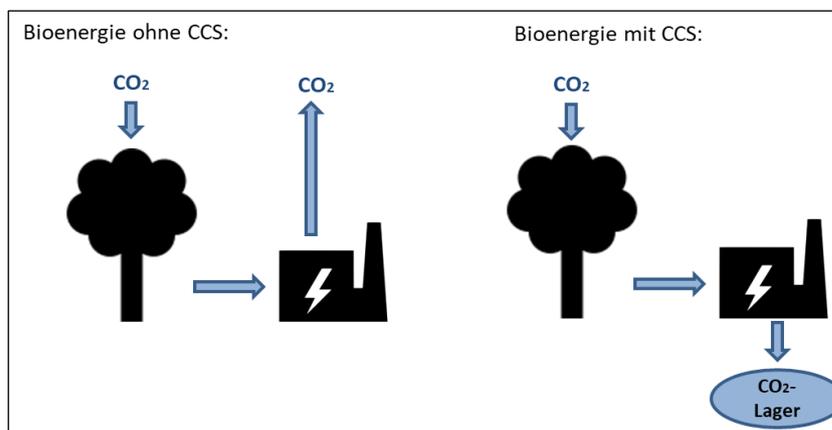
produziert werden könnten. Somit würden neben erneuerbarer Energie auch Kohlenstoffsenken entstehen.²⁹

Von einem Teilnehmer wurde kritisch hinterfragt, ob der Fortbestand des heutigen autozentrierten Verkehrssystems in Hinblick auf die Klimaszenarien überhaupt noch korrekt ist. Ebenfalls wurde nach der **Rolle der Wissenschaft in Hinblick auf politische Entscheidungen und Entscheidungsspielräume** gefragt. Wenn sich ein Großteil der Wissenschaft auf die Annahme einigt, dass bspw. negative Emissionen und BECCS zur Erreichung der Klimaziele unverzichtbar sind, wo und wie kann hier noch politisch gesteuert werden?

2.4.3 Carbon Capture and Storage & Carbon Capture and Utilisation

Bevor auf BECCS als Option für negative Emissionen eingegangen wird, sollen die Technologien Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Utilisation (CCU) kurz vorgestellt werden, da sie gewissermaßen Grundlage für BECCS bzw. BECCU sind. CCU und CCS sind in ihrem Ablauf und in ihrer Infrastruktur fast identisch und unterscheiden sich wenur im letzten Schritt: bei CCS wird das CO₂ unterirdisch eingelagert; bei CCU weiterverwendet. BECCS stellt somit eine „Weiterentwicklung“ des CCS-Ansatzes dar mit dem Add-On der Bioenergienutzung (ebenso BECCU von CCU) und dem Ziel negative Emissionen zu ermöglichen (siehe Abbildung 3).

Abb. 3: Funktionsweise und Kohlenstoffströme von Bioenergie mit und ohne CCS



Quelle: Impulspapier der AG Bioenergie, S. XV (siehe Anhang)

Anmerkung: Emissionen aus der Landnutzungsänderung sind nicht abgebildet.

²⁹ Sieht z.B. Projekte wie Delingha in China (<http://www.brightsourceenergy.com/delingha-solar-project#.Wv1GO6SFOGg>) oder die „Grüne Mauer“ in Afrika (<https://www.euractiv.de/section/entwicklungspolitik/news/afrikas-gruene-mauer-mit-baueumen-gegen-terrorismus-und-migration/>).

Carbon Capture and Storage (CCS) – Potenziale, Risiken und Bedenken

Carbon Capture and Storage ist ein Verfahren zur Abscheidung von CO₂ aus Kraftwerksabgasen, dessen Transport sowie langfristige Speicherung. Erste Pilotanlagen wurden 2006 gebaut, doch gerade in Europa war und ist diese Technologie umstritten. Da sie zunächst in Verbindung mit fossilen Kraftwerke genutzt werden sollte, gab es gesellschaftlich viel Kritik und kein Interesse daran, eine Technologie zur Verlängerung der Kohle-Industrie zu unterstützen. Darüber hinaus wurden die erneuerbaren Energien als wichtige Alternative zur CO₂-Minderung vorangetrieben. Die Forschung zu CCS ist in den USA dementsprechend wesentlich weiter als in Europa.

Abscheidung, Transport und die langfristige Speicherung von CO₂

Im Dialog wurde gesagt, dass die Abscheidung des CO₂ zwar der größte Kostenfaktor ist, in der Umsetzung jedoch nicht kompliziert sei. **Teuer, kompliziert und mit Risiken behaftet** sei vor allem die **Infrastruktur**, die bei CCS für den CO₂-Transport und die CO₂-Speicherung benötigt wird. Ein Teilnehmer erklärte, dass der Bau dieser Infrastruktur mit großer Sicherheit auf öffentliche Gelder angewiesen sein würde, da sich Geschäftsmodelle erst ab einem bestimmten Preis für CO₂ entwickeln lassen würden.

Die Speicherung des CO₂ soll in über 1000m Tiefe unter mehreren Gesteinsschichten erfolgen. Dafür müssen die Speicherstätten zuvor analysiert und bewertet werden, was rechtlich in einen geeigneten Rahmen festgesetzt werden sollte. In Deutschland wurde das für erste Modellprojekte bspw. durch das Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (KSpG) geregelt.

Das **Speicherungspotenzial** sei nach Einschätzung eines Teilnehmers kein limitierender Faktor für CCS. Demnach könnten bereits in der gesamten Nordsee 38.000 Milliarden Tonnen CO₂ gespeichert werden. Ein anderer Teilnehmer bezweifelte diese sehr positive Darstellung und merkte an, dass die vorhandenen Ressourcen räumlich mit den CO₂-Quellen in Zusammenhang gebracht werden müssen. Hierzu müsse beachtet werden, dass Offshore-Lösungen, die aufgrund der fehlenden Onshore-Akzeptanz in Deutschland diskutiert werden, eine geringe Wirtschaftlichkeit aufweisen.

CCS war lange ein Tabu in einigen Ländern Europas, besonders in Deutschland, aus den oben genannten Gründen. Eine Debatte über den Einsatz von CCS – dieses Mal mit Fokus auf die Industrie und deren Emissionen – läuft jedoch allmählich an. So steht z.B. im niederländischen Koalitionsvertrag, dass bis 2030 jährlich 18 Mio. Tonnen CO₂ aus der Industrie gespeichert werden sollen. Außerdem gibt es **einige Forschungs- und Umsetzungsprojekte**:

- In Norwegen ist momentan das erste Zementwerk in der Entwicklungsphase, welches die komplette Wertschöpfungskette für CCS implementiert: Das Zementwerk scheidet CO₂ ab, dann wird es transportiert und Offshore in einem ehemaligen

Statoil-Feld gelagert. Bis Mitte 2020 soll das Zementwerk dann konstant CO₂ abscheiden.³⁰

- Ein vom Horizon 2020 gefördertes Projekt untersucht in Großbritannien, ob „legacy infrastructure“ – also Altanlagen wie Pipelines, Bohrlöcher und Plattformen – wieder benutzt und für den CO₂-Transport verwendet werden können. Wenn existierende Pipelines für den CO₂-Transport verwendet werden könnten, würde das eine enorme Kostenreduktion des Infrastrukturausbaus bedeuten.³¹
- Ein weiteres Beispiel ist das ACT Acorn Projekt in Schottland, welches zum Ziel hat ein CCS Projekt Schritt-für-Schritt umzusetzen mit Wissenschaftlern aus Norwegen, den Niederlanden und Großbritannien.³²

Im **Rahmen der Trialog-Diskussion** wurden **Vor- und Nachteile von CCS** ausgetauscht. Als Hauptargument für CCS wurden von den Befürwortern die fehlenden Alternativen für die Prozess-Emissionen der Industrie genannt, vor allem die der Zement- und Stahlindustrie sowie Ammoniak in der Chemieindustrie. Mittel- bis langfristig könne CCS in diesem Bereich eine wichtige Rolle spielen. Es müsse vermieden werden, dass die Industrie 2050 der letzte CO₂-Emittent sei. Deshalb wurde von einem Teilnehmer gefordert, dass der Pfad für CCS zur Minimierung der Prozess-Emissionen der Industrie jetzt eingeschlagen werden sollte. Da der Aufbau der entsprechenden Infrastruktur lange dauern würde, wäre es sogar nach Ansicht einiger Teilnehmer gut gewesen, bereits vor einigen Jahren damit zu beginnen.

Den Befürwortern von CCS wurde entgegnet, dass die Einsatzfähigkeit von CCS weiterhin nicht sicher wäre. Es wurde die Frage gestellt, wie es zusammenpasse, dass es weltweit nur 17 CCS-Anlagen gibt, nachdem jahrelang sehr viel Geld in die CCS-Technologie geflossen sei. Zudem hat CCS den Nachteil, dass es am Ende kein Produkt hervorbringt – das CO₂ wird lediglich als „Abfall“ unter der Erde gelagert.

Ein kritischer Punkt im Zusammenhang mit der CO₂-Speicherung ist die Gefahr des „leakage“ (engl. „das Entweichen“). Hingegen der Annahmen der Befürworter gab es im Trialog mehrfach den Einwand, dass noch nicht ausreichend Erfahrungen zur langfristigen Speicherung von CO₂ vorliegen und eine Erprobung hauptsächlich im Rahmen von „Enhanced Oil Recovery“ stattfand.³³ Es bestehe das Risiko, dass bspw. der Druck zu hoch ist, mit

³⁰ Siehe auch https://www.norcem.no/en/carbon_capture und <http://www.businessportal-norwegen.com/2018/05/17/regierung-fuehrt-ccs-projekt-weiter/>

³¹ Siehe auch: <https://pale-blu.com/co2-sapling/>

³² Siehe auch <http://www.actacorn.eu/>.

³³ Siehe z.B. IPCC (2014): Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change, abrufbar unter https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/drafts/fgd/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers_may-version.pdf und Global CCS Institute (2018): Large-scale CCS facilities, abrufbar unter <https://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>.

dem das CO₂ in das Gestein verpresst wird und es dann durch Risse wieder austritt. Das Einatmen von hohen CO₂-Konzentrationen ist gefährlich und in Verbindung mit Wasser kann eine (schwache) Säure entstehen, die z.B. durch Korrosion ein Risiko darstellen kann.

Zu dem Risiko des CO₂-leakage wandte ein Teilnehmer ein, dass ein Eingriff in tiefere Gesteinsebenen nur dann durch die zuständige Bergbehörde genehmigt wird, wenn dem durch die Überprüfung der Landesbehörden sowie des staatlichen geologischen Dienstes nichts entgegensteht. Eine Genehmigung erfolgt nur, wenn die mit dem CCS-Verfahren verbundenen Risiken äußerst gering sind. Ehemalige Öl- und Gasfelder sind gut geeignet als CO₂-Speicherstätten, da die geologischen Gegebenheiten bekannt sind. Gerade für den Transport und die Speicherung wurde hervorgehoben, dass CO₂ an sich keine gefährliche Chemikalie ist, abgesehen von den atmosphärischen Auswirkungen. CO₂ ist nicht entflammbar und kann verflüssigt risikoarm per Schiff oder Pipeline transportiert werden. Gerade auch in Bezug auf eine Offshore-Speicherung wurde das Problem des Wiederaustritts (leakage) relativiert. Schlussendlich würde trotzdem weniger CO₂ zurück in die Atmosphäre gelangen im Vergleich dazu, wenn kein CCS durchgeführt worden wäre, so ein Teilnehmer.

Carbon Capture and Utilisation (CCU) – Mehrwert?

Bei CCU, der **Nutzung von Kohlenstoffdioxid**, wird das abgeschiedene CO₂ nicht eingelagert, sondern in unterschiedlichen Prozessen weiterverwendet – entweder direkt oder nach chemischer Umwandlung als Teil einer Kohlenstoffverbindung in Materialien oder Energieträgern. Wenn das Ziel Treibhausgasneutralität ist, dann reicht es im Grunde genommen aus CO₂ in einem Kreislauf zu halten. Dafür würde sich der Weg über CCU in Verbindung mit Biomassenutzung (BECCU) eignen. Wenn das Ziel jedoch die Erzeugung negativer Emissionen ist, dann muss das entnommene CO₂ auch dauerhaft eingelagert werden. Da ist im Rahmen von CCU bei nur sehr wenigen langlebigen Produkten wie Baumaterialien der Fall. Die meisten anderen CCU Produkte haben eine Lebensdauer von nur Wochen bis wenigen Jahren und setzen entsprechend dann auch wieder das CO₂ frei. Von einem Teilnehmer wurde angemerkt, dass es erst einmal sinnvoll wäre beide Optionen, CCU und CCS, gemeinsam zu diskutieren und erst am Ende zu entscheiden, was mit dem CO₂ gemacht wird.

Bereits heute ist CO₂ in verschiedenen Produkten gebräuchlich wie Kohlensäure in Getränken, Feuerlöschern, Düngemitteln, pharmazeutischen Produkten oder Baustoffen. Auch gibt es bereits diverse Ansätze CO₂ nach chemischer Umwandlung für flüssige Kraftstoffe zu nutzen.

Im Dialog wurde für die Industrie ein Potenzial in BECCU gesehen: Durch einen entsprechendem F&E-Aufwand könnte über BECCU Kohlenstoff im Kreislauf gefahren und somit Treibhausgasneutralität erreicht werden. Ebenfalls könnte CO₂ auch als Rohstoff für weitere Produkte, z.B. in der Chemie verwendet werden. Beide Ansätze sind jedoch erst

klimafreundlich, wenn der Energiebedarf, der für die Produktion benötigt wird, vollständig aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Von einem Teilnehmer wurde außerdem die Bereitstellung von flüssigem Kohlenwasserstoff als Anwendung für BECCU gesehen. Begründet wurde das damit, dass sobald der Straßenverkehr elektrifiziert ist flüssige Kohlenwasserstoffe bspw. im Luftverkehr benötigt werden.

Ein Problem der Nutzung der CCU-Technologien ist **der Energiebedarf**, der zur Aktivierung von CO₂ in der Regel erforderlich ist. Beim dem derzeitigen Strommix wäre CCU nicht klimafreundlich. Ebenfalls würde großskaliertes CCU die Stromnachfrage erhöhen, was konträr zum Ziel der Energieeinsparung steht und zur Verlängerung der Energiewende beitragen könnte. CCU ist demnach erst sinnvoll, wenn es tatsächlich einen Überschuss an erneuerbarer Energie gäbe. Hier kam die Anmerkung, dass diese Aussage für Deutschland eben nicht zutreffen werde. Sie ist nicht haltbar, da durch die direkte Elektrifizierung der Strombedarf **in Deutschland** langfristig steigen wird, so dass **Überschussstrom in den Größen, wie es für CCU notwendig wäre, überhaupt nicht vorhanden sein wird**. Nach Meinung des Teilnehmenden wird CCU aller Voraussicht nach nur in Regionen mit geringer Stromnachfrage und gleichzeitig hohem Potenzial für erneuerbare Energien durchführbar sein, wie z.B. in der MENA-Region oder West-Australien. Entsprechend ist der Mehrwert für die deutsche Diskussion aktuell gering.

Ebenfalls wurde die Sorge geäußert, dass CO₂, wenn es als Rohstoff betrachtet wird, aufgewertet werden würde und dadurch dem Ziel der Emissionsminderung entgegenwirke. Warum sollte ein kostenloses Beiprodukt kostspielig reduziert werden, wenn es einen Verkaufswert hat? Wenn CO₂ verringert werden soll, muss es eine Kostenbelastung haben, so ein Teilnehmer.

Grundsätzlich wurde auch kritisiert, dass CCU gar nicht den nötigen Mengeneffekt erzielen kann wie bspw. CCS. Zudem hat CCU nur einen geringen Klimateffekt. Es gibt nur wenige Produkte, die CO₂ langfristig binden. Auch bei synthetischen Kraftstoffen besteht das Problem, dass es maximal ein Netto-Nullsummen-Spiel ist – vorausgesetzt das CO₂ kommt aus der Bioenergienutzung oder DAC.

2.4.4 Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (BECCS) – eine Option?

Trotz der oben genannten Herausforderungen und Grenzen, die allein mit den Einzelthemen Bioenergie, CCS und CCU in Verbindung stehen, wird in Bioenergie mit CCS (BECCS) ein potenziell wichtiges Klimaschutzpotential gesehen. **BECCS ist eine der wenigen Technologien, mit denen sowohl Energie erzeugt als auch der Atmosphäre CO₂ werden kann.**

Zwar wurde die Nutzung von BECCS im Dialog sehr umstritten diskutiert, dennoch wurde unter bestimmten Bedingungen deren Einsatz in der Industrie als eine mögliche Option oder „Notlösung“ (Zitat Workshop II) gesehen: So könnte bspw. die Prozesswärme in **Industrieprozessen** durch Bioenergie erzeugt und das entstehende CO₂ abgeschieden

werden. Der Vorteil dabei wäre, dass es eine zentrale CO₂-Abscheidungsquelle gibt und die Industrie ihre Emissionen reduzieren kann. Gleichzeitig könnten „zero-Emission-Produkte“ entstehen, die nach Ansicht eines Teilnehmers einen Markt hätten. Einige Teilnehmende widersprachen jedoch dem Argument, dass BECCS einen ökonomischen Mehrwert hervorbringe. Denn auch wenn die Energie nachhaltig erzeugt wird und im Fall der Bioenergie sogar CO₂ der Atmosphäre entzogen wird, so wird das CO₂ schlussendlich einfach unterirdisch eingelagert.

Auf die Frage „Unter welchen Bedingungen könnte BECCS in Deutschland stattfinden?“ wurde im Workshop II mehrheitlich gesagt, dass BECCS nur als Option herangezogen werden sollte, wenn die Energiebilanz des gesamten Prozesses von BECCS, ein sog. **Life Cycle Assessment**, deutlich negativer ausfällt als die anderer Optionen und der Zeitraum der Implementierung kürzer ist als der der Alternativen. Dafür wären vorab gründliche Analysen und wissenschaftliche Untersuchungen nötig, damit Risiken ausgeschlossen und ein Ordnungsrahmen aufgestellt werden kann.

Verschiedene Teilnehmende äußerten Bedenken, dass BECCS den Fokus der CO₂-Reduktion verschiebt, die Transformation blockiert und die Industrie dazu verleitet, keine Klimaanstrengungen durchzuführen. Es wurde die Frage gestellt, ob BECCS durch seinen Zusatz der Bioenergie eigentlich nur der Versuch ist „CCS wieder salonfähig zu machen?“ (Politik & Verwaltung).

Angemerkt wurde, dass bevor überhaupt tiefer in die Diskussion über BECCS eingestiegen werden kann, geklärt werden muss, **wie realistisch eine großskalierte Umsetzung ist**. Kann BECCS sicher implementiert werden, sodass sowohl die Abscheidung als auch die Speicherung umweltverträglich und verlässlich steuerbar ist? Wie wirtschaftlich ist BECCS in Anbetracht des heutigen, niedrigen CO₂-Preises? Was bleibt netto an CO₂, was dann unter die Erde kommt? Besonders wurden Zweifel an der **Sicherheit und der technischen Beherrschbarkeit der BECCS-Technologie** hervorgehoben. Selbst wenn wir meinen, wir beherrschen den Auf- und Ausbau einer sicheren Technologie, gibt es ausreichend Beispiele, die die Risiken und Zweifel bestätigen. Dazu wurden Analogien zur Kernkraft hinsichtlich der Sicherheit und zum Flughafenbau Berlin Brandenburg hinsichtlich der Umsetzung herangezogen (Wissenschaft).

Neben den Bedenken wurden auch konkrete Nachteile und Bedingungen der Technologie genannt. Vor allem der **Kostenfaktor** der BECCS-Infrastruktur und der CO₂-Abscheidung an

„Denn alles was wir bisher hier diskutiert haben, lief darauf hinaus, dass die Dezentralisierung der Energieerzeugung nicht nur ein sehr umfassender Trend ist, sondern dass er auch begrüßt wird, zugunsten von Demokratie und Partizipation, d.h. dass es da einen politischen Zusammenhang gibt.“

ZIVILGESELLSCHAFT

sich wurden diskutiert.³⁴ Um BECCS umzusetzen, wird ein riesiges **Infrastruktursystem** benötigt: Pipelines, Verdichterstationen, CO₂-Lager, Monitoring des gesamten Systems etc. Wenn BECCS wirklich eine Option sein sollte, dann müsste jetzt mit dem Bau dieser Infrastruktur begonnen werden, da eine Fertigstellung 10-15 Jahre beansprucht. Aber selbst bei einem CO₂-Preis von 50-60 Euro pro Tonne würde diese Infrastruktur zu teuer sein, als dass es sich für die Unternehmen lohnen würde, diese einzurichten bzw. sie überhaupt privatwirtschaftlich gestemmt werden könnte. Daher wurde von einem Teilnehmer konstatiert, dass sich die Infrastruktur nicht alleine über den Markt realisieren lassen könne: sie ist aufgrund der Größe, der massiven Interventionen sowie Transferleistungen nicht marktkompatibel und ziehe erhebliche Pfadabhängigkeiten nach sich. Die Infrastruktur lasse sich nur bauen, wenn es dafür einen politischen Willen gibt wie bspw. der Nordsee-Anrainerstaaten, wenn das CO₂ in Europa offshore gelagert werden solle. Im Rahmen der derzeitigen Governance-Struktur wurde wenig Potenzial gesehen, dass ein so riesiges Infrastrukturprojekt zustande käme. Zusätzlich müssten für eine systemdienliche und BECCS-fähige Bioenergienutzung rechtliche Rahmenbedingungen angepasst werden, sodass negative Emissionen überhaupt angerechnet bzw. verrechnet werden können. Momentan gibt es dafür noch keinen Mechanismus.

Mehrfach wurde zudem kritisiert, dass die für BECCS benötigte zentrale Infrastruktur im **Widerspruch zur bisherigen Dezentralität von Bioenergie** steht, die von den meisten Teilnehmenden als wichtig erachtet wird. Dezentrale Strukturen sind von hoher Bedeutung beim Umbau des Energiesystems und auch mit Blick auf den Netzausbau. Ebenfalls würden für große Anlagen wesentlich größere Stoffströme nötig werden. Somit bestünde die Gefahr einer Importabhängigkeit, da in Deutschland gar nicht so viel Biomasse bereitgestellt werden kann. Nettoimporte von Biomasse sollten aber nach dem Ergebnispapier „Strom 2030“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie möglichst begrenzt werden³⁵, wie eine Teilnehmerin erinnerte.

Ebenfalls wurde auf die fehlende **gesellschaftliche Akzeptanz für BECCS-Anlagen** eingegangen. Entscheidend für BECCS sei, so ein Teilnehmer, dass zuerst CCS als probate Maßnahme zur CO₂-Entnahme gesellschaftlich akzeptiert werde. Anschließend daran kann erst überlegt werden, wie Bioenergieanlagen ausgestaltet werden müssen, um das CCS-System ausreichend bedienen zu können. Des Weiteren wurde die Eingriffstiefe einer Technologie wie BECCS kritisiert und angemahnt, dass auch andere harte Szenarien bedacht werden müssen, wie CO₂ vermieden werden kann (z.B. Verbote). Einfach weiter CO₂

³⁴ Siehe z.B. Zero Emissions Platform (2011): The Costs of CO₂ Capture, Transport and Storage, abrufbar unter <https://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/17011/costs-co2-capture-transport-and-storage.pdf>.

³⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Strom 2030, S. 37, abrufbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/strom-2030-ergebnispapier.pdf?__blob=publication-file&v=28.

emittieren und zur Reduktion von CO₂ Großtechnologien aufbauen, behebt nur Symptome, jedoch nicht die Ursache des Problems.

2.5 Politische Rahmenbedingungen auf nationaler und EU-Ebene

Aufgrund der Komplexität der Biomassenutzung und somit auch der Bioenergienutzung ist die Festsetzung eines adäquaten Rechtsrahmens wichtig, betonten mehrere Teilnehmende, um die Chancen effektiv zu nutzen und Risiken einzudämmen. Allerdings ist dies durch die globalen Zusammenhänge keine triviale Aufgabe. Grundsätzlich hat die Politik die Aufgabe die Weichen so zu stellen, dass die Dekarbonisierung vorangetrieben wird. „Wenn die Wirtschaft allein entscheiden würde, würde diese fossile Welt so weitergehen wie es heute ist“, so ein Teilnehmer aus der Wirtschaft.

Im Trialog wurde postuliert, dass **die Bioenergienutzung aufgrund staatlicher Regulierung in Deutschland sowie in Europa zurückgehe** (z.B. Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung³⁶). Hintergrund dafür ist, dass vorher viele Akteure Nachhaltigkeitsaspekte nicht

„Die Diskussion im EP um die Erneuerbare-Energien-Richtlinie und das Verbot von Palmöl: ... also erst mal ist nicht von einem Importverbot die Rede. Das weiß auch das EP, dass geht WTO-mäßig nicht. Es geht lediglich darum in das Fördersystem, was wir für die erneuerbaren Energien haben und hier im Besonderen für die Biokraftstoffe, sozusagen Palmöl nicht zu privilegieren, also keine Anrechnung auf die vorgeschriebenen Quoten zuzulassen.“ | POLITIK & VERWALTUNG

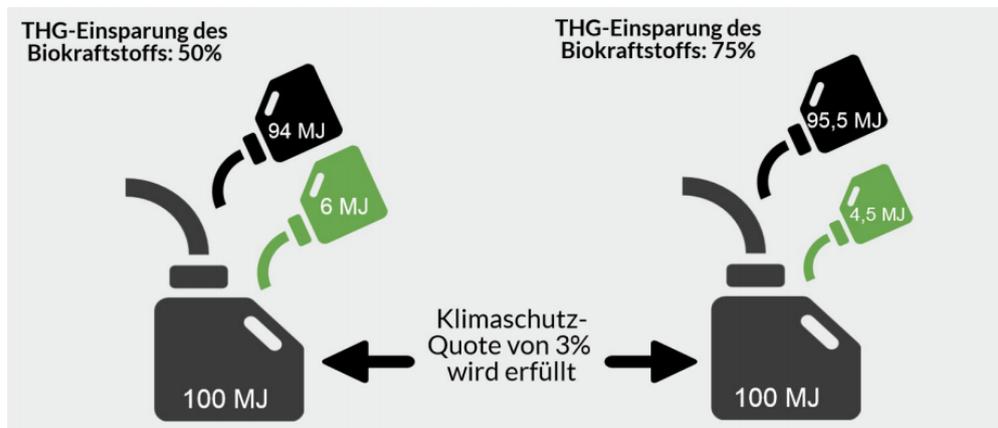
ausreichend beachtet haben (z.B. durch Maismonokulturen, Urwaldabholzung). Es sei folglich richtig, diese Missstände durch Regularien zu korrigieren, so ein Teilnehmer aus der Zivilgesellschaft. Er mahnte allerdings auch an, dass „aus dieser Diskussion häufig eine pauschale politische Diskussion geworden ist, die sich gegen Bioenergie richtet und die Chancen einer nachhaltigen Nutzung verschüttet“.

Eine Teilnehmerin äußerte die Meinung, dass die politischen Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in Deutschland unsicher seien und der Rückgang des Einsatzes der Biokraftstoffe in Deutschland nicht der Nachhaltigkeitsverordnung, sondern anderen rechtlichen Vorgaben zuzuschreiben sei: Demnach gehen die eingesetzten Mengen zurück, weil Biokraftstoffe immer klimaeffizienter werden, so dass die CO₂-Einsparziele der Mineralölindustrie mit geringeren Mengen erreicht werden können. Erreicht werden diese durch die Beimischung bestimmter Anteile von Biokraftstoffen. Das aktuelle Einsparziel

³⁶ Vgl. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2009): Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung, abrufbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/biokraft-nachv/BJNR318200009.html>.

liegt bei vier Prozent, ab 2020 dann bei sechs Prozent.³⁷ Ein anderer Teilnehmer war der Meinung, dass im Klimaschutz-Plan 2050 zurecht darauf hingewiesen wird, dass die im Verkehrssektor eingeführte **Klimaschutz-Quote** deutliche Anreize für den Einsatz von Biokraftstoffen mit relativ hohen THG-Minderungswerten setzt. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass zur Erreichung der Ziele immer weniger Biokraftstoffe eingesetzt werden müssen. Darüber hinaus stimulieren sie, dass Biokraftstoffe auf der Basis von Rest- und Abfallstoffen relativ an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen, weil diese Kraftstoffe außergewöhnlich hohe Treibhausgas-Minderungen ermöglichen. Bezogen auf die Rest- und Abfallstoffe äußerte ein weiterer Teilnehmer seinen Unmut, dass im Koalitionsvertrag zwar von einer verstärkten Verwertung von Rest- und Abfallstoffen die Rede sei, jedoch die Nutzung von einzelnen Rohstoffe (z.B. tierische Fette) für erneuerbare Kraftstoffe weiter ausgeschlossen wird. Vor dem Hintergrund, dass bereits heute Emissionen nachhaltig gesenkt werden müssen, sei das nicht nachvollziehbar.

Abb. 4: Veranschaulichung der Effizienzsteigerung und Klimaschutzquote



Quelle: Biokraftstoffverband³⁸

Im Zusammenhang mit den Verhandlungen **zur neuen Europäischen-Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED II)** wurde angemerkt, dass durch die hohe Komplexität der Bioenergienutzung Beschlüsse auf europäischer Ebene unerwünschte Auswirkungen in

³⁷ Siehe z.B. Verband der Deutschen Kraftstoffindustrie (2016): Die Treibhausgas-Quote, abrufbar unter <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/treibhausgas-quote.html> und Verband der Deutschen Kraftstoffindustrie (2017): Immer weniger Biokraftstoffe im Straßenverkehr, abrufbar unter <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/detail/items/immer-weniger-biokraftstoffe-im-strassenverkehr.html>.

³⁸ Biokraftstoffverband, gesamte Grafik abrufbar unter http://www.biokraftstoffverband.de/tl_files/download/Grafiken_und_Bildmaterial/14-08-22%20THG-Quote%20Info%20Grafik.pdf.

„Ich muss Ihnen sagen, die Dimensionen sind ein bisschen andere: weltweit gehen fünf Prozent der Palmöl-Produktion in den energetischen Bereich, 95% gehen woanders hin. Wenn wir von diesen fünf Prozent noch den Teil in Europa nehmen und sagen der wird jetzt nicht mehr auf der Haben-Seite der Bioenergiepolitik verbucht, ja, da können Sie bitte nicht erzählen, dass da Millionen von Kleinbauern arbeitslos werden...“ | POLITIK & VERWALTUNG

anderen Regionen der Welt haben können – diese internationalen Implikationen sollten auch bei zukünftigen politischen Entscheidungen bedacht werden. Die Diskussion um das Verbot von Palmöl als Bestandteil von anrechenbaren Biokraftstoffen im Rahmen von RED II verursacht bspw. seit geraumer Zeit Proteste in Malaysia und Indonesien. Während für ein Verbot insbesondere mit dem Schutz des Regenwaldes und der Artenvielfalt argumentiert wird, ist die Antwort aus Malaysia und Indonesien soziale Gerechtigkeit. Demnach würde ein Verbot die Einkünfte der Bauern erheblich beschneiden. Im Trialog wurde allerdings auch angemerkt, dass die EU lediglich acht Prozent der weltweiten Palmölproduktion importiert, wovon nur ein geringer Teil in Kraftstoffe fließt. Darüber hinaus wurde nochmals verdeutlicht, dass diese Kraftstoffe im Rahmen von RED II nicht verboten, sondern lediglich nicht mehr privilegiert würden im Sinne der Anrechenbarkeit auf Quoten im Verkehrssektor.³⁹

Unabhängig von den globalen Implikationen der RED II wurde von Seiten der Wirtschaft der Wunsch geäußert, dass in der Richtlinie klar definiert werden sollte, welche Möglichkeiten die Mitgliedsstaaten noch haben über die Richtlinie hinaus zu agieren und die

Dekarbonisierung voranzutreiben. Gerade für den Bereich der Biokraftstoffe (Verkehr sowie Luft- und Schifffahrt) wurde Investitionssicherheit gefordert. Die Aufgabe der Politik sei der Abbau von Markthindernissen, Schaffung von Anreizen sowie die Förderung der Forschung.

Doch nicht nur auf EU-Ebene gibt es Kritik an der Rechtsetzung. In Deutschland herrsche bspw. Unklarheit darüber, wie sich die politischen Maßnahmen bezüglich Bioenergie und insbesondere Biogas nach 2030 gestalten werden. In einigen Jahren laufen die Förderungen für Biogasanlagen aus und neue Regelungen wurden bisher nicht getroffen. Aber auch hier wird ein klarer politischer Rahmen und **Investitionssicherheit** gewünscht.

Allgemein wurde eingewandt, dass es auf Seiten der Politik mitunter an **Grundstrukturen und Rückkopplungselementen** über den Markt fehle, um langfristige und informierte Strategien zu entwickeln. Wichtig wäre zudem, partielle Betrachtungsweisen speziell im Bereich der Bioenergie und somit auch Biomasse zu überwinden. Aber auch hier gilt, dass „separierte Analysen“ (Politik & Verwaltung) überwunden werden.

³⁹ Zum Unmut vieler Umweltorganisationen soll der Import von Palmöl erst zu Ende 2030 verboten werden (vgl. Agentur für Erneuerbare Energien (2018): Trilog stoppt den Klimaschutz im Verkehr, abrufbar unter <https://www.unendlich-viel-energie.de/presse/branchenmeldungen/trilog-stoppt-den-klimaschutz-im-verkehr> und Rettet den Regenwald (2018): Die EU beschließt die Vernichtung der Regenwälder, abrufbar unter <https://www.regenwald.org/news/8888/die-eu-beschliesst-die-vernichtung-der-regenwaelder>).

2.6 Aspekte einer langfristigen Bioenergie-Strategie

Bereits heute ist klar, dass die Bioenergienutzung 2050 eine andere sein wird als momentan. Deshalb ist es wichtig, dass die dafür notwendigen **Transformationspfade** rechtzeitig vorbereitet werden. Eine große Herausforderung besteht darin, dass das zukünftige Anforderungsprofil der Bioenergienutzung derzeit jedoch noch nicht genau beschrieben werden kann. Daher kann es keine Langfriststrategie für Bioenergie in Form eines fixen Masterplans geben. Vielmehr braucht es ein Format, ähnlich einer Wegbeschreibung, das angepasst und verändert werden kann. Gerade in Hinblick auf die Zeiträume, verschiedene Phasen einer Bioenergiestrategie und das Verhältnis von dringenden Entscheidungen und neuen Pfadabhängigkeiten braucht es ein Format, das Raum zum Lernen und Nachsteuern bietet.

Wichtig für eine breit akzeptierte Bioenergiestrategie ist zudem, dass nicht nur ökonomische, ökologische und (system-)technische Aspekte berücksichtigt werden, sondern auch soziale. Durch die Komplexität des Themas sowie die vielen Überschneidungen zu anderen Bereichen (Entwicklungshilfe, Ernährung, Futtermittel, Landnutzung, usw.) sind „zweitbeste Lösungen“ bzw. alternative Potenziale aus anderen Dimensionen mit in die Diskussion um eine Bioenergiestrategie einzubeziehen – der **Fächer der Alternativen** muss breiter gespannt werden. **Eine konsistente Bioenergiestrategie ist davon abhängig, dass es eine stärkere Abstimmung zwischen der Klima-, Energie, Agrar-, Entwicklungs- und Umweltpolitik gibt.** Ziel sollte es sein die Implikationen von Instrumenten, Technologien und Maßnahmen so konkret wie möglich darzustellen. Nur auf einer transparenten und ehrlichen Basis können Entscheidungen für eine langfristige Bioenergiestrategie und deren Umsetzungen getroffen werden. Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, dass sich vor dem Beschluss eines Ordnungsrahmens alle betroffenen Parteien darüber verständigen, wer welche Interessen hat und welche Weichenstellungen eingeschlagen werden sollten. Eine Teilnehmerin merkte an, dass grundlegend über bisherige Verfahren und Verhaltensweisen diskutiert werden sollte (z.B. Reduktion des Fleisch- und Papier-Konsums). Entscheidend dabei ist die Frage, wie es schlussendlich mit der Gesellschaft kommuniziert wird.

Für eine nachjustierbare Bioenergiestrategie sprechen auch die Unsicherheiten darüber, wie sich andere Bereiche im Energiesystem (Speicher, Sektorkopplung, usw.) und die **Bioökonomie** weiterentwickeln. In der Bioökonomie stellt die energetische Nutzung vorzugsweise die letzte Stufe der Kaskadennutzung dar oder sollte als Koppelprodukt erzeugt werden. Mehrheitlich wurde sich für eine Betrachtung der Bioenergie im Kontext der Bioökonomie ausgesprochen. Aufgrund der Begrenztheit der Biomasse sollte insbesondere auch ein Abgleich mit den Potenzialen alternativer erneuerbarer Energien erfolgen. Ein Teilnehmer schlug vor, dass analog zu dem bereits beschlossenen Auslaufen der Förderung von Bioenergie in der Stromerzeugung auch die Nutzung von Bioenergie in der

Wärmeversorgung perspektivisch restriktiv zu behandeln sei. Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wären ebenso andere erneuerbare Quellen zu nutzen.

Im Trialog wurden viele verschiedene Einzelaspekte einer Bioenergiestrategie diskutiert, wovon die wichtigsten – Technologieoffenheit, Instrumente-Mix, CO₂-Preis, Zertifizierung, Optionen für negative Emissionen, Anforderungen an die Wissenschaft und Nachhaltigkeit – im Folgenden erläutert werden.

Technologieoffenheit

Nach Ansicht eines Teilnehmers existiert ein **Spannungsfeld** zwischen den Ansätzen der Politik, die **technologieneutrale Ansätze** braucht und fördern soll, und den Ansätzen der Wissenschaft, die mitunter Technologien differenziert betrachten und je nach Anwendung und Bedingungen als „gut oder schlecht“ bewerten. In Bezug auf die oftmals geäußerte Notwendigkeit von negativen Emissionen seitens der Wissenschaft, wurde gewünscht, dass der Politik die Entscheidungsspielräume durch die Wissenschaft nicht genommen werden sollten.⁴⁰ Können diese Spannungsfelder in einer Bioenergiestrategie aufgelöst werden? Wie können Lösungen greifbar gemacht werden? Wichtig ist, dass zwar die Bereiche wie Landwirtschaft, Ernährung und Bioenergie zusammen betrachtet werden, jedoch die Herausforderungen dabei nicht vermischt werden: So können beispielsweise die Probleme der Landwirtschaft nicht durch die Energiewirtschaft gelöst werden. Das gleiche gilt analog für die Ernährung. Dennoch sollten die Zusammenhänge verdeutlicht und vor allem auch mit der Gesellschaft diskutiert und kommuniziert werden. Darüber hinaus müssen alle verfügbaren Optionen in Betracht kommen. Diese würden jedoch, so ein Teilnehmer, durch die konservativen Szenarien, die keinen radikalen Wandel miteinbeziehen, nicht adäquat dargestellt. Weiter wurde die Meinung vertreten, dass Entscheidungsspielräume für die Politik gegeben sind solange Technologieoffenheit das Credo bleibt. Dabei sei nicht relevant, ob bspw. Teile der Wissenschaft CCS favorisierten.

„Einerseits haben wir einen wissenschaftlichen Ansatz, der sehr technologie-differenziert, betrachtet: manchmal gut, manchmal schlecht, je nach Anwendung. Und zum anderen aber eine Politik, die eigentlich technologie-neutrale Ansätze braucht. Und das ist ein Spannungsfeld. Und wir diskutieren heute eigentlich um eine Bioenergiestrategie, haben aber gleichzeitig das Gefühl, eine richtige Bioenergiestrategie ist nicht greifbar.“ | POLITIK & VERWALTUNG

Eine offene Diskussion über die einzuschlagenden Technologiepfade ist wichtig. Jedoch wurde auch gefordert, dass trotz aller Offenheit Technologien wie BECCS eng an andere energiepolitische Fragen, wie den Ausstieg aus der Kohle, geknüpft sein müssen. Ebenfalls stellen Kosten, Effizienz und sozial-ökologische Unbedenklichkeit wichtige Kriterien dar, an

⁴⁰ vgl. IPCC „[...] dass zur Erreichung der Klimaziele des Paris-Abkommens negative Emissionen unverzichtbar sind“.

denen sich Technologien bemessen lassen müssen und entsprechend auch ausscheiden können. Dem widersprach ein Teilnehmer mit dem Einwand, dass grundsätzlich keine Option von vorne herein ausgeschlossen werde sollte für den Fall, dass die anderen Optionen nicht ausreichen. Hieran wurde ein weiteres Spannungsfeld aufgezeigt: zwischen der Forderung an die Politik einen geeigneten Rahmen zu setzen und der Forderung dabei trotzdem technologieoffen zu sein. Denn es ist nicht leicht einen Rahmen zu setzen und dabei keine Technologien unbeabsichtigt zu begünstigen.

Es wurde auch betont, dass keine Türen zu bestehenden Forschungsfelder geschlossen werden sollten (z.B. Biogas). Denn nur durch Forschung kommen Innovationen zustande, die wiederum die Effizienz erhöhen und neue Potenziale aufzeigen. Neben Politik- und Technologieoffenheit sollte es demnach auch **eine Offenheit in der Forschung und Forschungsförderung** geben. Technologie- und Forschungsoffenheit bedeutet aber nicht, dass jede Technologie um jeden Preis gefördert werden muss. Sie beinhaltet hingegen die Schaffung eines *level playing field* (Neuordnung staatlich induzierter Preisbestandteile, CO₂-Preis, usw.), auf welchem verschiedene Technologien dann im Wettbewerb zueinanderstehen. Dadurch wird ersichtlich, welche Folgen die jeweiligen Technologien haben und wo die Bioenergienutzung am sinnvollsten ist. Ebenfalls wäre ein wichtiger Schritt zur Schaffung eines *level playing field* der Abbau von Subventionen für nicht erneuerbare Energieträger. Für die Weiterentwicklung von Technologien ist es zudem notwendig, dass es von Seiten der Politik einen hinreichenden Vertrauensschutz gibt (Investitionssicherheit). Sonst werden die Entwicklungen nicht angestoßen.

Mix aus verschiedenen Instrumenten

Mehrfach wurde betont, dass es eine Mischung verschiedener Instrumente geben müsse: es gibt nicht die eine Antwort und staatliche Regulierung muss und wird eine wichtige Rolle im Rahmen der Bioenergienutzung spielen. Jeder Markt ist in gewisser Weise reguliert, weshalb Argumentationen in Richtung eines freien Marktes und weniger Regulationen nicht haltbar sind. Wichtig ist aber, dass diese (Spiel)regeln gut aufgesetzt werden, um nicht funktionierende Instrumente zu vermeiden (vgl. negativen Erfahrungen im Emissionshandel). Die Zertifizierung von Bioenergie alleine reicht bspw. nicht aus, da sie nur ein Informationsinstrument und kein Regelungsinstrument ist (Durchsetzungsdefizite). Es braucht ein ganzes Paket an Maßnahmen und jede davon muss anhand ihrer Gesamtbilanz und der Zeitschiene für ihre Implementation bewertet werden (ineffizienteste und teuerste Optionen zuletzt). Zudem ist für den Einsatz von Instrumenten eine Klärung darüber notwendig, wo Biomasse eingesetzt werden soll. Trotz der Komplexität des Themas, so ein Teilnehmer, ist eine Hierarchisierung verschiedener Instrumente (bspw. zuerst CO₂-Preis, dann weitere) möglich.

CO₂-Preis als marktwirtschaftliches Instrument

Ein **CO₂-Preis wurde als Lösung vieler Probleme** eingefordert. Für die Bioenergie wurde der Vorteil gesehen, dass sie durch eine CO₂-Bepreisung dort eingesetzt wird, wo andere Technologien sehr hohe Klimaschutzvermeidungskosten hätten. Für die Umsetzung wurde vorgeschlagen, dass ein ausreichend hoher CO₂-Preis auf alle Treibhausgasemissionen implementiert wird. Dazu müsste das ETS-System auf alle Bereiche ausgebaut und überflüssige Zertifikate vom Markt genommen werden. Optimal, so ein Teilnehmer, wäre ein internationaler CO₂-Preis – nur so könnten gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle energetischen Nutzungen geschaffen werden. Angemerkt wurde, dass dies zwar die beste Lösung sei, der Vorschlag jedoch einer Utopie gleiche.

„Im Übrigen, wenn ich das noch eben sagen darf, überflüssige Zertifikate aus dem Markt zu nehmen ist kein Eingriff in das Marktgeschehen, sondern das wäre eine Korrektur von Politikversagen.“ | POLITIK & VERWALTUNG

Im Trialog wurde darüber diskutiert, **wie hoch ein CO₂-Preis sein müsste** unter der Prämisse, dass es sich zum einen nicht mehr lohnt, fossile Energieträger zu nutzen und zum anderen, damit ein *business-case* für BECCS geschaffen würde. Ein Teilnehmer war der Ansicht, dass es sich für die Stahlindustrie bei einem CO₂ Preis von 30 Euro pro Tonne nicht mehr lohnen würde Kohle zu nutzen, sondern stattdessen Biomasse die bessere Option wäre. Für CCS hingegen liegen die Kosten je nach Betrieb und je nach Technologie zwischen 50 und 100 Euro. Das bedeutet, dass bei einem CO₂-Preis von 60 Euro der Einsatz von CCS weiterhin reine Mehrkosten für die Industrie wäre. Als problematisch wurde zudem gesehen, dass ein CO₂-Preis innerhalb eines Systems implementiert wird und somit auch mit anderen Faktoren interagiert. Ein Teilnehmer betonte deshalb, dass wenn sich ein Preis ändert, dadurch auch andere Änderungen eintreten. Deshalb sei es nicht ratsam, pauschale Einschätzungen für eine CO₂-Preis zu geben. Bezogen auf die Externalitäten der Bioenergie, wie z.B. die Flächennutzung und die sozialen Aspekte, wurden Zweifel geäußert, ob ein CO₂-Preis das überhaupt einfangen könne.

(Nachhaltigkeits-)Zertifizierung für alle Bereiche der Biomassenutzung

Da ein globaler CO₂-Preis in Kürze nicht erwartet werden kann, wurde die Frage aufgeworfen inwieweit **durch Zertifizierung eine Brücke** geschlagen werden kann, um sicherzustellen, dass mindestens der Bioenergiebereich, aber vielleicht auch weitere Teile des Agrarbereichs, nachhaltig betrieben werden. (Nachhaltigkeits-)Zertifizierung bedeutet, dass z.B. anhand spezieller Ketten nachgewiesen wird, welche Klimagaseinsparung erreicht wurde, die Bioenergie von nachhaltig bewirtschafteten Flächen stammt und in guter Praxis hergestellt wird. Bisher existiert so eine Zertifizierung jedoch nur für den

Biokraftstoffbereich.⁴¹ Im Rahmen der RED II ist eine Ausweitung auf gasförmige und feste Biobrennstoffe geplant.

Eine Ausweitung auf alle Bereiche der Biomassenutzung, also sowohl für Nahrungs- und Futtermittelnutzung als auch für die stoffliche und energetische Nutzung, wurde vom Großteil der Teilnehmenden aus mehreren Gründen befürwortet: Durch die Ausweitung der Zertifizierung auf alle Bereiche der Biomasse gelten die gleichen Regeln und somit auch die gleichen Chancen für alle. Somit wird die Gefahr vieler separater Ordnungsrechte eingedämmt zugunsten eines *level playing field*. Zudem würde den genannten Risiken und Trade-offs der Biomassenutzung entgegengewirkt werden mit dem Ziel, eine klimafreundliche Landnutzung sicherzustellen. Darüber hinaus können Zertifizierungssysteme auf andere Gruppen ausstrahlen, die zunächst nicht Zielgruppe des Zertifizierungssystems sind.

Trotz der genannten Vorteile einer Zertifizierung wurden auch Nachteile angesprochen. Eingewandt wurde, dass es bei Transformationsprozessen keine Stunde null gibt. Es ist immer schon ein Markt mit bestehenden Regeln vorhanden. Ein Neustart mit gleichen Wettbewerbsbedingungen für alle wird in der Realität nie da sein. Ein weiteres Problem von vielen Zertifizierungsansätzen ist, dass sie kein Reduktionsziel beinhalten. Dabei wurde das Beispiel Papier genannt: Zwar nutzen die meisten FSC-Papier, aber der Papierverbrauch hat sich dadurch nicht auf ein nachhaltiges Niveau gesenkt. In diesem Kontext wurde auch erwähnt, dass soziale Trade-offs in bisherigen Zertifizierungssystemen von Biomasse fehlen.

Einer der Workshops kam zu dem Ergebnis, dass die Wirkung von Zertifizierungssystemen begrenzt ist. Die Bewertung dessen, was ein Zertifizierungssystem leisten kann, entscheidet sich schlussendlich bei dessen Gestaltung, Umsetzung und Kontrolle der zertifizierten Unternehmen. Ein gut aufgesetztes Zertifizierungssystem, was durch weitere Maßnahmen sowie einer gesellschaftlichen Diskussion begleitet sind, hat gute Chancen Veränderungen mit herbeizuführen.

CO₂-Einsparung und Optionen für negative Emissionen

In der Diskussion um die Notwendigkeit von negativen Emissionen wurde darauf hingewiesen, dass der 2°C-Pfad auf einer Wahrscheinlichkeitsberechnung fußt. D.h. ein bestimmtes Kohlenstoffbudget über einen Zeitraum führt mit einer bestimmten **Wahrscheinlichkeit dazu, dass sich die Erde um 1,5°C oder 2°C erwärmt**. Wahrscheinlichkeit heißt aber auch,

⁴¹ Auf europäischer Ebene wurden mit der EU-Renewable Energies Directive (EU-RED) von 2009 für die flüssigen Biomassen beziehungsweise Biokraftstoffe verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen festgeschrieben. Deutschland hat die Vorgaben der RED in Form der Biomassestrom-(BioSt-NachVO) und der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnungen (BioKraftNachV) in nationales Recht umgesetzt (Umweltbundesamt (2016): Nachhaltigkeitsstandards/Zertifizierung von Biomasse, abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/nachhaltigkeitsstandards-zertifizierung-von>).

es verbleibt eine gewisse Unsicherheit, ob wir mit den angepeilten Emissionsminderungen wirklich unter 2°C oder 1,5°C bleiben, weil nicht genau klar ist, wie sensitiv das Klimasystem auf das CO₂ reagiert. Das angepeilte Budget kann mit verschiedenen Methoden eingehalten werden, z.B. mit oder ohne Negativ-Emissionstechnologien. Je kleiner das Budget, desto schwieriger wird es, auf bestimmte Technologieoptionen zu verzichten. Dementsprechend birgt auch die Strategie, welche Technologien zum Einsatz kommen sollen, gewisse Wahrscheinlichkeiten, ob das CO₂-Budget eingehalten werden kann. Somit bleibt aktuell auch die Möglichkeit, in dieser Bandbreite ohne Kohlenstoffentnahmen auszukommen, wenn andere Maßnahmen aktiv ergriffen werden. Denn das Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen ist in vielen Bereichen, aber auch im Biomasse-Bereich noch sehr groß. Daher sollte eine Bioenergiestrategie weiterhin mit der Prämisse aufgestellt sein, dass CO₂-Entnahme- und Einlagerungs-Technologien beim Klimaschutz keinen Ersatz für die Vermeidung von THG-Emissionen darstellen. Wenn Optionen für negative Emissionen zum Einsatz kommen, so die Mehrheit, braucht es Lebenszyklusanalysen der verschiedenen Optionen (Transport, Nebenemissionen, Anbau, usw.) und nachvollziehbare Quantifizierungen hinsichtlich des Einsparpotenzials, Kosten, Zeitrahmen und den Auswirkungen auf andere Bereiche wie die Ernährung.

Vor allem in der Diskussion um BECCS bestehen viele Unsicherheiten. Es sollte zunächst überprüft werden wie realistisch BECCS ist, bevor weiter damit geplant und die Technologie in Szenarien miteinbezogen wird. Demonstrationsvorhaben könnten bspw. Unklarheiten beseitigen und auch die interessierte Öffentlichkeit informieren.

Anforderungen an die Wissenschaft

Im Rahmen der Diskussion um eine nachhaltige Bioenergiestrategie wurden Wünsche an die Wissenschaft formuliert. Besonders zentral war die Forderung nach **verlässlichen Einschätzungen zu den Potenzialen** bzw. zumindest Erwartungswahrscheinlichkeiten, falls die Potenziale nicht exakt bestimmbar sind. Die Ableitung eines Potenzialkorridors wurde als notwendige Voraussetzung für die Strategieentwicklung gesehen.

Des Weiteren wurde gewünscht, dass alle **Senken sowie die Optionen zur CO₂-Entnahme quantifiziert** werden anhand von Potenzialen, Kosten, Zeitschiene, Speicherkapazität, Nebeneffekte usw. Nur wenn alle Möglichkeiten mit ihren Vor- und Nachteilen bekannt sind, kann eine Strategie aufgesetzt werden. Besonders Wert gelegt wurde auf die Beantwortung der Frage „Wie lange bleibt Kohlenstoff gespeichert?“. Im Rahmen der Quantifizierung wurde ebenfalls auf die Berücksichtigung der Synergie-Effekte mit der Landnutzung und Nahrungsmittelproduktion hingewiesen. Die Analyse von gesellschaftlichen Effekten einschließlich der Akzeptanz von Biomassetransporten sei ebenso geboten.

Eine weitere Aufgabe, die an die Wissenschaft herangetragen wurde, war das Erstellen weiterer **Szenarien mit dem Fokus auf das 1,5°C-Ziel und ambitionierten Maßnahmen statt**

auf Technologien für negative Emissionen. In Bezug auf die Optionen, die mit Sicherheit benötigt werden, wie z.B. die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, Biomethan für Schwerlastverkehr und Biofestbrennstoffe für Fern- und Prozesswärme, wurde eine Weiterführung der Forschung gewünscht. Dabei wurde vor allem Wert auf die systematische Weiterentwicklung der Technologien für die Reststoffnutzung gelegt, da diese eine robuste, sichere und risikoarme Basis der Bioenergienutzung darstellen. Zusätzlich wurde auch der Erhalt und die technologische Weiterentwicklung der bestehenden Bioenergieanlagen gefordert.

Zielkanon in einer komplexen Debatte

Für eine Bioenergiestrategie reicht es nicht aus, nur Einzelaspekte zu betrachten. Vielmehr ist es notwendig in größeren Zusammenhängen zu denken, um der Komplexität des Themas gerecht zu werden. Deshalb ist neben dem Einbezug unterschiedlicher Bereiche auch eine globale Perspektive nötig.

Einen wichtigen Ankerpunkt bilden die **Sustainable Development Goals (SDGs)**. Es wurde vorgeschlagen, dass ein Zielkanon definiert wird, in welchem Trade-offs benannt werden und eine Priorisierung stattfindet. Besonders hervorgehoben wurden dabei die Nachhaltigkeitskriterien und ökologische Aspekte: denn ohne Beachtung des **Vorsorgeprinzips** funktioniert eine Bioenergiestrategie auf lange Sicht nicht, da ihr die Grundlagen genommen werden würden.

Zu den Zielen der Bundesregierung für die Transformation des Energiesystems gehören die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen, die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien, die Reduktion des Primär-Energieverbrauches und die Steigerung der Energieeffizienz. Diese Ziele stehen nicht allein, sondern innerhalb eines internationalen Kontextes. Sie sollen zu den in Paris vereinbarten Zielen und zu den völkerrechtlich verbindlichen Nachhaltigkeitszielen beitragen.

Ein Teilnehmer forderte sogar, dass das Konzept des Postwachstums (degrowth⁴²) mit in eine nachhaltige Bioenergiestrategie einfließen sollte. Darunter wird eine Wirtschaftsweise und Gesellschaftsform verstanden, die das Wohlergehen aller zum Ziel hat und ökologische Lebensgrundlagen erhält. In der Umsetzung bedeutet das u.a. Zeitwohlstand, Verringerung der Produktion und des Konsums im globalen Norden, Orientierung an Suffizienz statt Effizienz-Steigerung und der Ausbau demokratischer Entscheidungsformen.

⁴² Vgl. Konzeptwerk Neue Ökonomie (2018): Was ist degrowth?, abrufbar unter <https://www.degrowth.info/de/was-ist-degrowth/>.

2.7 Schlussbetrachtung

Im Trialog über die Nutzung von Bioenergie debattierten die Teilnehmenden aus Politik und Verwaltung, Wirtschaft, der organisierten Zivilgesellschaft und der Wissenschaft gemeinsam mit Mitgliedern des Projekts ESYS darüber, wie eine nachhaltige Bioenergiestrategie in Zusammenschau mit negativen Emissionen gestaltet sein könnte und welche Vor- und Nachteile dabei zu beachten sind. Bei Betrachtung der Potenziale und Risiken der Bioenergienutzung zeigte sich, **dass die zukünftigen Erwartungen an die Bioenergie sowie die jeweiligen Szenarien sehr unterschiedlich ausfallen**: sowohl in der Menge (Wie viel Bioenergie soll im künftigen Energiesystem eingesetzt werden?) als auch in der Frage wo sie genutzt werden soll (Wärme, Strom, Verkehr, Industrie?). Der entscheidende Punkt für die gesamte Diskussion zum Thema Bioenergie ist jedoch, dass neue Optionen der Bioenergienutzung nicht dadurch zustande kommen, dass noch sehr viel mehr Biomasse dazu gebaut wird, sondern dadurch, **dass die für energetische Zwecke zur Verfügung stehende Biomasse umgenutzt wird und begrenzt neue Kapazitäten klug eingesetzt werden**. Die Frage des „Wie viel?“ wird somit nicht unerheblich sein für die Frage des „Wo?“.

Grundsätzlich wurde der Politik im Trialog eine wichtige Rolle in der Dekarbonisierung und im Kampf gegen den Klimawandel zugesprochen. Aus der Wirtschaft alleine heraus werden keine ausreichenden Schritte erfolgen. Die Politik muss einen Rahmen setzen, der ökonomische, technische, ökologische, systemische und sozialen Aspekte umfasst. Technisch und ökonomisch beste Lösungen sind jedoch nicht gleichzeitig auch die sozial oder ökologisch besten Lösungen – hier müssen dann zweit- oder drittbeste Lösungen herangezogen werden, die aber in der Zusammenschau aller Dimensionen besser abschneiden. **Folglich, kann eine nachhaltige Bioenergiestrategie als ein Teil der Energiewende nur für und mit der Gesamtgesellschaft gemeinsam entschieden werden.**

Da sehr viele Unsicherheiten und Interdependenzen um die Nutzung von Biomasse allgemein und Bioenergie im Speziellen existieren, muss die Möglichkeit bestehen nach zu justieren, wenn nötig. In der Kommunikation der Wissenschaft und Politik in die Gesellschaft hinein sollte die Komplexität des Themas anerkannt werden und auf die Herausforderung, bestmögliche Lösungen zu finden, hingewiesen werden. Dazu gehört auch, dass der Fächer der Alternativen breit genug dargestellt wird und nicht von Beginn an von „Alternativlosigkeit“ gesprochen wird.

Auf dem Trialog herrschte weder Einigkeit darüber, ob negative Emissionen für die Klimaziele notwendig sind, noch, ob diese am besten mit BECCS oder anderen Alternativen wie Wiederbegrünung zu erreichen sind. Schließlich bedarf es ebenso Erklärungen und klarer Schritte hinsichtlich der Diskussion um negative Emissionen im Verhältnis zu noch immer existierender großer Emittenten. Zunächst sollte der Fokus der Politik darauf liegen unnötige große Emittenten abzuschaffen.

Ebenso sollte Biomasse in allen Bereichen eine gewisse Gleichbehandlung erfahren: was sind die Ziele in der Landwirtschaft, der Entwicklungshilfe, der Energiewende, der Umweltpolitik? Diese können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, sondern müssen vielmehr Eingang in einen Zielkanon finden. Der Beitrag der Bioenergie zur Erreichung des 2°C-Ziels ist zwar signifikant, jedoch auch begrenzt. Daher sollte das Einsparen von CO₂-Emissionen weiterhin ein übergeordnetes Ziel sein. Eine Gleichbehandlung ist jedoch keine einfache Aufgabe: in komplexen Transformationsprozessen gibt es niemals eine Stunde null mit gleicher Ausgangssituation für alle, sondern ein System wird in ein neues System überführt. Der Rahmen dafür wird in seltenen Fällen für alle die gleichen Implikationen haben. Entstehende Friktionen müssen entsprechend begleitet werden. Damit die Akzeptanz für den Klimaschutz erhalten bleibt, müssen die Transaktionskosten für die Bürgerinnen und Bürger gering bleiben und dürfen im Verhältnis zu Industrie und Wirtschaft keinesfalls ungerecht gestaltet sein.

Dass eine umfassende gesellschaftliche Diskussion des Themas notwendig ist, zeigt sich auch an den offenen Fragen, die sich im Dialog ergeben haben (s.u.). Diese Frage sollten in der weiteren Debatte mitgedacht und erweitert werden. Schließlich kann eine nachhaltige Bioenergiestrategie nicht losgelöst von den weiteren Entwicklungen der Energiewende entworfen werden. Es muss vielmehr um eine Energiewendestrategie gehen in der alle erneuerbaren Energien, erwünschte Einsparungen und technologische Weiterentwicklungen ineinandergreifen. Biomasse zur energetischen Nutzung wird im Rahmen einer Bioökonomie immer hinter Ernährung zurückstehen. Auch das darf bei einer wachsenden Weltbevölkerung und im Sinne der Sustainable Development Goals nicht ignoriert werden.

Offene Fragen

- Wie könnte eine **CO₂-Zertifizierung** ausgestaltet sein? Kann durch Zertifizierung Übergangsweise ein globaler CO₂-Preis ersetzt werden?
- Welchen Beitrag können einzelne **Ministerien** über das BMWi hinaus langfristig für einen Ordnungsrahmen von Bioenergie leisten? Wie kann das strategisch und konzentriert aufgestellt sein?
- Können anhand von **mehrdimensionalen Bewertungsrahmen** die Folgen und Kosten einzelner **Technologie-Transformationen** ausreichend dargestellt werden? Kann BECCS vergleichbar ökonomisch sein wie eine Wiedervernässung von Moorböden und deren Nutzung für Bioenergiezwecke? Welche Technologien gibt es, die mehr Sicherheit versprechen als bspw. BECCS? Inwieweit kann eine gesellschaftliche Akzeptanz für CCS hergestellt werden? Was sind „**zweitbeste Lösungen**“, die aber in der Zusammenschau aller Bereiche (nicht nur sektoral) einen Mehrwert bieten?

- Welche Möglichkeiten gibt es um **zukünftig Energie zu speichern** zum Ausgleich der fluktuierenden Leistungen von Wind und Sonne? Welche Rolle spielt zukünftig die Sektorkopplung?
- Welchen **Preis ist die Gesellschaft bereit zu zahlen** für Alternativen, z.B. weniger Fleischkonsum versus Speicherung von CO₂?
- Sollten wir eher auf weniger Ressourcenverbrauch und **Suffizienz** in unseren Wirtschaftssystemen setzen als über große Technologien zu sprechen, die **alte Systeme** stützen?

3 Ausblick auf Folgeaktivitäten

Dieser Bericht wird den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe „Bioenergie“ für ihre weitere Arbeit zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung einer Stellungnahme der Arbeitsgruppe ist Anfang 2019 geplant.

Der Dialog zum Thema Bioenergiepotenziale war der fünfte Dialog in der zweiten Projektphase des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“. Bis zum Ende der Projektlaufzeit im Februar 2019 erhalten die Arbeitsgruppen des Akademienprojekts die Möglichkeit, mit den Dialogen in den Dialog mit der Gesellschaft zu treten und aktuelle Forschungsfragen durch dieses Format auf Augenhöhe mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft zu diskutieren.

Im Mai 2018 fand der neunte Dialog zum Thema „(De)zentralisiert! Die Balance für ein nachhaltiges, zuverlässiges und bezahlbares Energiesystem finden“ statt.

Zwei weitere Dialoge werden noch im Rahmen der Projektlaufzeit stattfinden. Der nächste wird im Oktober 2018 zum Thema „Strommarktdesign“ stattfinden.

4 Annex

Annex I: Konzept der Trialoge®

Das Trialog-Verfahren

Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Plattform sind ein erprobtes Verfahren, um **gesellschaftspolitische Diskussionen fair und vertrauensbildend** zu gestalten und politische Entscheidungsprozesse fundiert vorzubereiten. Hauptpunkte des Verfahrens sind eine ganztägige Trialog-Veranstaltung mit relevanten Stakeholdern im Rahmen des zu diskutierenden Themas sowie die anschließende Analyse der Diskussion.

Als Stakeholder fungieren in den Trialogen Vertreterinnen und Vertreter von Politik, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft, begleitet von Wissenschaft und Medien. Sie treten in einen argumentativen Austausch miteinander, einer sog. **Deliberation**. Ziel unserer Trialog-Veranstaltungen ist es, **Verständigungsprozesse durch Perspektivenvielfalt und die Begründung von Argumenten zu initiieren und Grundkonsense zu erarbeiten**.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer decken aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen, Erfahrungen und Machtpotentiale und dank der Deliberation untereinander ein breites Spektrum wesentlicher gesellschaftlicher Perspektiven ab. Durch ihre argumentative, durchaus konflikthafte Auseinandersetzung schaffen sie Transparenz, eröffnen Win-Win-Situationen und bereiten so einen überparteilichen Korridor vor, innerhalb dessen **gemeinwohlorientierte Lösungen** gefunden und nachhaltige Entscheidungen getroffen werden können.

Dazu ist es unabdinglich, dass die Offenheit des vertraulichen Austausches gewahrt wird und Positionen nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Ebenso sollen die Positionen nicht einfach nebeneinander oder einander gegenübergestellt werden, sondern argumentativ aneinander anknüpfen. Nur so kann ein Verständigungsprozess angeregt werden, der breit akzeptierte Lösungen vorbereitet.

Wichtig ist zu diesem Zweck, die Teilnehmenden so auszuwählen, dass sie in ihrem Bereich kompetent und ebenso argumentationsfähig wie verständigungswillig sind. Über die **Chatham House Rule**⁴³ wird Vertraulichkeit hergestellt, die durch eine kompetente und faire Moderation weiter unterstützt wird.

⁴³„Bei Veranstaltungen (oder Teilen von Veranstaltungen), die unter die Chatham-House-Regel fallen, ist den Teilnehmern die freie Verwendung der erhaltenen Informationen unter der Bedingung gestattet, dass weder die Identität noch die Zugehörigkeit von Rednern oder anderen Teilnehmern preisgegeben werden dürfen.“ Royal Institute of International Affairs, London.

Trialoge im Rahmen des Projektes „Energiesysteme der Zukunft“

Das Projekt „Trialoge als transdisziplinäre Dialogplattform für die interdisziplinären Arbeitsgruppen im Projekt: Energiesysteme der Zukunft II“ wird im Zeitraum 2016 – 2019 insgesamt acht Dialoge für die ESYS-Arbeitsgruppen durchführen. Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das interdisziplinäre Projekt „**Energiesysteme der Zukunft**“ (ESYS) gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmensseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Das Projekt ESYS wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Acatech hat die Federführung übernommen.

Die **Trialoge** ergänzen die wissenschaftlichen Arbeitsgruppen des Projekts durch eine Erweiterung hin zur **Transdisziplinarität**. Im Zentrum der Diskussion stehen die interdisziplinäre Forschungsarbeit der Arbeitsgruppen und deren Implikationen für die Gesellschaft ebenso wie gesellschaftliche Anliegen in Bezug auf das Thema der Arbeitsgruppen. Damit soll wissenschaftlich-analytische Forschung stärker mit gesellschaftlichem Erfahrungswissen und gesellschaftlich-politischen Entscheidungs- und Problemlösungsprozessen zusammengebracht werden. Diese bieten den wissenschaftlichen Arbeitsgruppen die Möglichkeit, in einem vergleichsweise kleinen und vertraulichen Rahmen ihre (Zwischen-)Ergebnisse methodisch reflektiert mit Vertreterinnen und Vertretern der Gesellschaft - also aus Wirtschaft, Politik und organisierter Zivilgesellschaft - ganztägig zu diskutieren. Sie erhalten so eine Rückkoppelung zu ihrer Forschungsarbeit durch die Gesellschaft, deren Interessenvertreterinnen und -vertreter zugleich Wissensträger sind. Durch die transdisziplinären Dialoge können neue Herangehensweisen an wissenschaftliche Themen eröffnet werden, weitere Forschungsbedarfe aufgedeckt und neues Wissen durch Verständigung generiert werden. Gleichzeitig wird die verfügbare Wissensbasis auch für Vertreter der Gesellschaft vertieft und damit das gesellschaftliche Handlungsvermögen gesteigert. Langfristig trägt ein gesellschaftlich robustes Wissen, insbesondere in der Energiewende dazu bei, dass wichtige anstehende Entscheidungen gesellschaftlich informiert unterstützt werden und Politik nachhaltig gestaltet werden kann. Entsprechend möchten die Dialoge wissenschaftlicher Arbeit nicht konfrontativ abprüfen, sondern sie stellen eine Möglichkeit zum partnerschaftlichen Austausch dar mit dem besten Nutzen für alle Beteiligten.

Annex II: Agenda

Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen.

Wie kann eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?

Am 23. Februar 2018, im Allianz Forum (Pariser Platz 6, 10117 Berlin)

09:00 Anmeldung und Kaffee

09:30 Begrüßung und Einführung
Prof. Dr. Dr. h.c. G. Schwan, HUMOBLDT-VIADRINA Governance Plattform gGmbH

09:50 Inhaltliche Einführung
*Prof. Dr. Daniela Thrän, Co-Leitung AG Bioenergie ESYS, Bereichsleiterin
Bioenergiesysteme DBFZ und Leiterin Department Bioenergie am UFZ*

10:10 kurze Fragerunde

10:20 Input-Vorträge aus organisierter Zivilgesellschaft und Wirtschaft
*Dr. Justus Andreas, Policy Manager Industrie, Bellona Foundation
Henrik Erämetsä, Head of Aviation, Neste Corporation*

10:50 Kaffeepause

11:05 Input-Vortrag aus Politik & Verwaltung
*Dr. Volker Niendieker, Referatsleiter Energieangelegenheiten, Bioenergie
beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)*

11:20 Diskussion zwischen allen Teilnehmenden

13:15 Mittagspause

14:15 Parallele Workshops

WS 1: Durch welche Instrumente kann eine nachhaltige Bioenergienutzung gefördert und
schädliche Nebenwirkungen verhindert werden?
Prof. Gernot Klepper, Ph. D., Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel - IfW

WS 2: Negative Emissionen in Deutschland: Welche Möglichkeiten gibt es?
Wie können wir uns darauf vorbereiten?
*Dr. habil. Axel Liebscher, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches
GeoForschungszentrum GFZ*

WS 3: Bioenergiepotenziale und Trade-offs: Wo kann und soll Biomasse für die
energetische Nutzung künftig herkommen?
*Prof. Dr. Daniela Thrän, Co-Leitung AG Bioenergie ESYS, Bereichsleiterin
Bioenergiesysteme DBFZ und Leiterin Department Bioenergie am UFZ*

15:45 Kaffeepause

16:00 Vorstellung der Workshop-Ergebnisse

16:20 Diskussion zwischen allen Teilnehmenden und Zusammenfassung

17:00 Ausklang der Veranstaltung

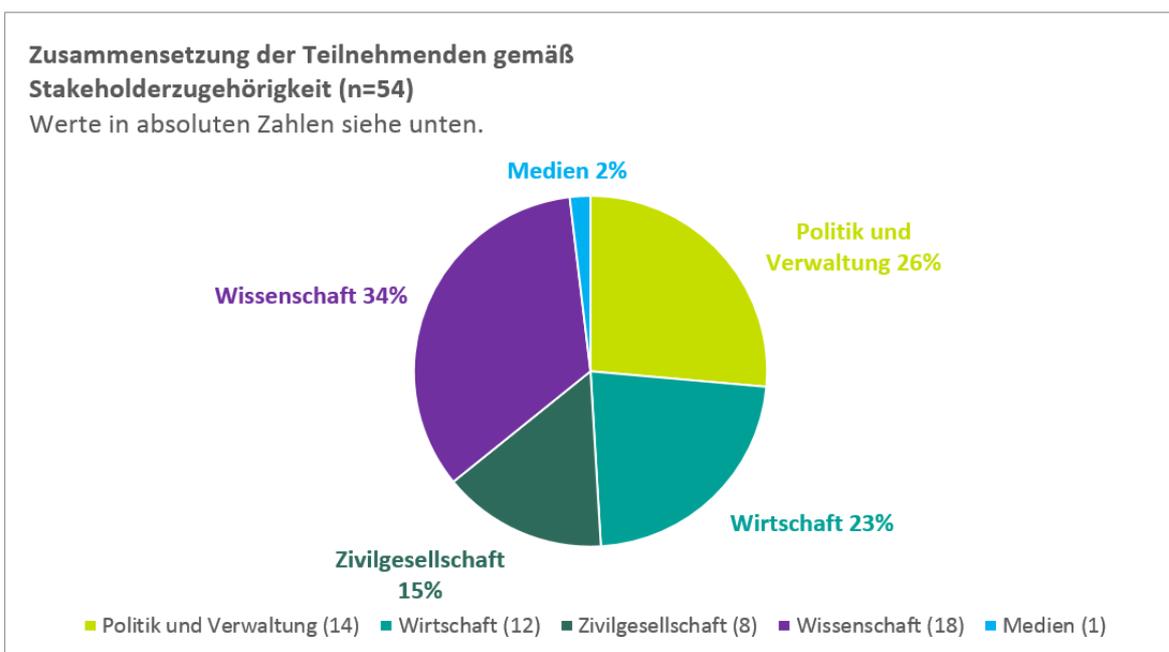
Annex III: Stakeholderauswertung

Einladungsmanagement

Basis für die Einladungen war die detaillierte Kontaktdatenbank der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform, die relevante Akteure aus verschiedenen Stakeholdergruppen des Themenbereichs Energie umfasst. Sofern entscheidende Akteure für das konkrete Thema aus den Stakeholdergruppen noch nicht vorlagen, wurden diese gezielt recherchiert. Auf Grundlage dieser Datenbank von rund 2100 Kontakten wurden entsprechend ihrer Schwerpunktsetzung 623 Personen eingeladen. Es wurden gemäß dem Dialog-Konzept eine Anzahl von etwa 50 Teilnehmenden und eine etwa gleichmäßige Verteilung in Bezug auf die drei Stakeholdergruppen Politik und Verwaltung, Unternehmenssektor und organisierte Zivilgesellschaft angestrebt. Neben den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe Energieunion wurden Vertreterinnen und Vertreter aus weiteren wissenschaftlichen Institutionen eingeladen. Auch die Medien erhielten die Möglichkeit zur Teilnahme.

Zur Veranstaltung hatten sich 63 Personen angemeldet, tatsächlich teilgenommen haben schließlich **54 Personen** (20 weiblich, 34 männlich), die **42 Organisationen und Unternehmen** vertraten. Unter den Teilnehmenden waren drei Vertreterinnen der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform sowie vier Mitarbeiterinnen von acatech.

Zusammensetzung der Teilnehmenden gemäß Stakeholdergruppen



Die Teilnehmenden der Veranstaltung verteilten sich entsprechend der Grundidee des Dialog-Konzepts auf die Bereiche Politik und Verwaltung, Wirtschaft, organisierte Zivilgesellschaft und Wissenschaft.

Die **Wissenschaft** stellte mit insgesamt 18 Personen die größte Stakeholdergruppe dar. Vertretene Institutionen waren u.a. das Institut für zukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) gGmbH, das Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), das ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und die Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP).

Von Seiten der **Wirtschaft** nahmen insgesamt 12 Vertreterinnen und Vertreter teil. Darunter waren große Unternehmen, wie die Vattenfall GmbH und die Neste Corporation. Ebenfalls nahmen diverse Organisationen und Verbände, wie der Deutsche Bauernverband e.V. (DBV) und der Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB) teil.

Die **organisierte Zivilgesellschaft** war durch acht Personen vertreten, u.a. durch Brot für die Welt e.V., die Heinrich-Böll-Stiftung und die Bellona Foundation.

Aus dem **politisch-administrativen Bereich** nahmen 14 Personen am Dialog teil. Neben Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Landesministerien nahmen zudem Teilnehmende aus dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) und dem Umweltbundesamt (UBA) teil. Die **Medien** waren durch einen Redakteur der Agrarzeitung vertreten.

Übersicht der vertretenen Institutionen

Die folgende Übersicht listet die vertretenden Institutionen auf, aus denen die Teilnehmenden entsandt wurden sowie diejenigen Institutionen, die sich durch die Kommentierung des Protokolls eingebracht haben.

acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Geschäftsstelle Energiesysteme der Zukunft
Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AEE)
Agentur Zukunft - Büro für Nachhaltigkeitsfragen
Agrarzeitung
Bellona Foundation
Brot für die Welt e.V.
Bundesamt für Naturschutz (BfN)
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)
Burson-Marsteller GmbH
Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Deutscher Bauernverband e.V. (DBV)
Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ)
Energy Watch Group und MdB
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Forum Umwelt und Entwicklung
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ
Heinrich-Böll-Stiftung e.V.
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Institut für Weltwirtschaft (IfW) Kiel
Institut für zukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) gGmbH
Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL)
Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU)
Neste Corporation
Projektträger Jülich
Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)
Sustainable Services
Technische Universität Dresden
Umweltbundesamt (UBA)
Vattenfall GmbH
Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI)
Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB)
Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V. (OVID)
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB)

Annex IV: Impulspapier für den Dialog

Impulspapier zum Dialog am 23. Februar 2018



Bioenergiepotenziale richtig bewerten und nutzen, Nebenwirkungen eindämmen. Wie soll eine langfristige Bioenergiestrategie gestaltet sein?

Biomasse trägt zur Energiebereitstellung in Deutschland derzeit mehr bei als alle anderen erneuerbaren Energien zusammen. Rund 60 Prozent des Endenergiebeitrags erneuerbarer Energien stammen aus Biomasse (einschließlich Klärgas, Müll und Deponiegas). Damit wurden 2016 rund 9 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs durch Bioenergie gedeckt, was in etwa 225 Terawattstunden (0,81 Exajoule) pro Jahr entspricht.⁴⁴

Bioenergie hat einige Vorteile: Im Gegensatz zu Wind- und Solarenergie kann Bioenergie auch über lange Zeiträume gut gespeichert werden und ist im Energiesystem vielfältig einsetzbar, etwa zur planbaren Stromerzeugung, als Biokraftstoff im Verkehrssektor und zur Wärmeerzeugung. Studien deuten darauf hin, dass die Energiewende ohne Bioenergie wesentlich schwieriger und teurer werden würde, da sie eine wichtige Alternative zu fossilen Brennstoffen darstellt.⁴⁵

Dem potenziellen Beitrag zum Klimaschutz stehen allerdings erhebliche Risiken der Bioenergienutzung gegenüber. So befürchten Kritiker, dass eine verstärkte Verwendung von Bioenergie ungewollte Nebeneffekte wie die Abholzung von Wäldern nach sich zieht und dadurch langfristig vermutlich nicht zum Klimaschutz beiträgt. Auch die Nutzungskonkurrenzen mit der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung (Tank-Teller-Diskussion) sowie die Umweltauswirkungen auf Artenvielfalt, Böden und Gewässer sind Teil der Debatte.

Ein Aspekt, der in der Diskussion noch relativ wenig Beachtung findet, ist das Thema Bioenergie in Kombination mit CO₂-Abscheidung und Einlagerung (BECCS). Globale Klimaschutzzszenarien deuten darauf hin, dass die langfristigen Klimaschutzziele nur erreicht werden können, wenn in den kommenden Jahrzehnten der Atmosphäre CO₂ entzogen wird.⁴⁶ Dabei spielt BECCS in den Szenarien eine große Rolle. Die Funktionsweise: Pflanzen nehmen durch Photosynthese CO₂ aus der Atmosphäre auf und bilden daraus energiereiche Kohlenstoffverbindungen. Werden diese zur Gewinnung von Strom, Wärme oder Kraftstoff genutzt, entsteht wieder CO₂, das abgetrennt und dauerhaft unterirdisch deponiert wird. Insgesamt wird dadurch der CO₂-Gehalt der Atmosphäre gesenkt, es entstehen „negative Emissionen“. In der Fachwelt wird die Notwendigkeit negativer Emissionen und BECCS bereits seit einigen Jahren intensiv diskutiert,⁴⁷ in der gesellschaftlichen und politischen Diskussion ist das Thema bisher jedoch kaum angekommen. Dabei drängt die Zeit. Denn wenn BECCS in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts nennenswert zum Klimaschutz beitragen soll, müssen erste Anlagen bereits um 2020 oder 2030 in Betrieb gehen. Außerdem bedarf es einer Infrastruktur für CO₂-Transport und -Einlagerung. Zudem müsste sich die Art der Bioenergienutzung grundlegend ändern: Da sich CCS eher für große Anlagen eignet, müsste zudem die Biomasse aus den heutigen, meist eher dezentralen Nutzungsstrukturen umgeleitet werden.

⁴⁴ BMWI 2017-1.

⁴⁵ z.B. acatech/Leopoldina/Akademienunion 2017, BMWI 2017-2, Lutz 2016, S. 119.

⁴⁶ UNEP 2017, easac 2018.

⁴⁷ z.B. Azar et al. 2006.

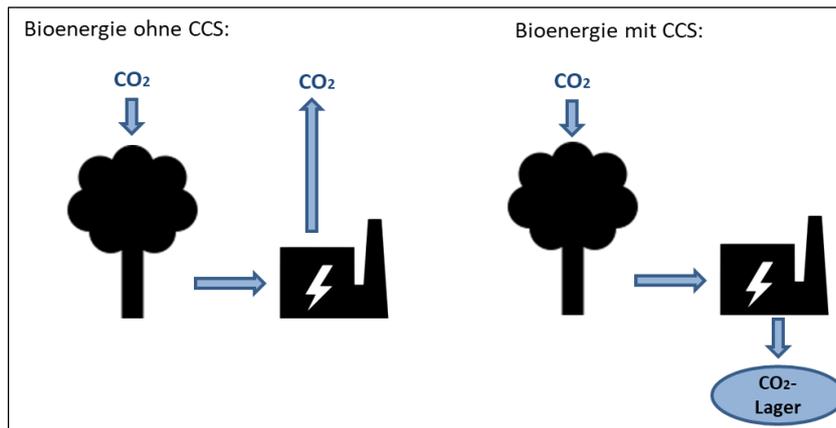


Abbildung 1: Funktionsweise und Kohlenstoffströme von Bioenergie mit und ohne CCS. Emissionen aus der Landnutzungsänderung sind nicht abgebildet.

Da sowohl CCS als auch die Nutzung von Bioenergie gesellschaftlich umstritten sind, lässt BECCS in vielerlei Hinsicht eine kontroverse Diskussion erwarten, die dringend mit breiter gesellschaftlicher Beteiligung geführt werden sollte.

Bioenergienutzung in Deutschland ist untrennbar mit globaler Landnutzung verbunden

Wie viel Bioenergie sollte für die Energiewende in Deutschland eingesetzt werden? Deutschland ist bereits Netto-Importeur von Biomasse und beansprucht dadurch rechnerisch etwa ein Drittel seiner eigenen Agrarfläche im Ausland. Den Landbedarf zur Deckung der Netto-Importe bezeichnet man auch als „virtuellen Landimport“. Andererseits werden auch Biomasseprodukte wie Fleisch exportiert. Da Deutschland über verschiedene Biomasse-Handelsströme ohnehin in internationale Märkte eingebettet ist, erscheint eine separate Bewertung der Bioenergiepotenziale in Deutschland nicht sinnvoll.

Schätzungen der globalen Bioenergiepotenziale gehen weit auseinander. Während einige Studien davon ausgehen, dass das Potenzial gegenüber der heutigen weltweiten Bioenergienutzung von 59 Exajoule⁴⁸ bis zum Jahr 2050 nur unwesentlich steigen wird,⁴⁹ halten andere Untersuchungen eine Steigerung auf 500 bis zu 1.000 Exajoule pro Jahr für möglich.⁵⁰ Zum Vergleich: Im Jahr 2016 betrug der weltweite Primärenergiebedarf 560 Exajoule, bis 2040 könnte er bei Umsetzung der von den Staaten angekündigten Klimaschutzmaßnahmen auf etwa 700 Exajoule pro Jahr steigen.⁵¹ Gründe für die große Spannweite sind zum einen unterschiedliche Annahmen zu Bevölkerungsentwicklung, Ernährungsgewohnheiten und Steigerungen der landwirtschaftlichen Erträge. Zum anderen spielen aber auch unterschiedliche Bewertungen von Konflikten mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion und der stofflichen Nutzung sowie Auswirkungen auf Ökosysteme eine Rolle. Denn jede Entnahme von Biomasse zur Energieproduktion hat Folgen: Zum einen steht die Biomasse nicht mehr für andere menschliche Nutzungsformen (stoffliche Nutzung, Nahrungs- und Futtermittel) zur Verfügung, zum anderen kann sie Funktionen im Ökosystem (beispielsweise als Nahrung oder Lebensraum für andere Lebewesen) nicht mehr wahrnehmen. Bei Rest- und Abfallstoffen können solche Nebenwirkungen auftreten, wenn diese aus dem Acker- oder Forstsystem entnommen werden (beispielsweise, wenn Stroh energetisch genutzt wird,

⁴⁸ WBA 2017.

⁴⁹ Haberl et al. 2011; Searle/Malins 2015.

⁵⁰ Wolf et al. 2003; Hoogwijk et al. 2005; Smeets et al. 2007.

⁵¹ IEA 2017, S. 79, New Policies Scenario.

anstatt es auf dem Acker zu lassen). Bei Rest- und Abfallstoffen, die bei der stofflichen Nutzung entstehen (beispielsweise Altholz), sind Rückwirkungen auf Ökosysteme nicht oder deutlich weniger zu erwarten.

Heute werden bereits 75 Prozent der globalen eisfreien Landfläche mehr oder weniger intensiv durch den Menschen genutzt.⁵² Die noch ungenutzten Landflächen bestehen aus unproduktiven Böden und aus den letzten unberührten Regenwäldern. Eine Produktion von Biomasse zur Energieerzeugung kann und sollte daher nur auf bereits genutzten Landflächen erfolgen.

Im Hinblick auf die wachsende Weltbevölkerung und deren Nahrungsmittelbedarf ist eine Steigerung der Bioenergienutzung möglicherweise nur dann vertretbar, wenn parallel der Fleischkonsum in den Industrieländern sinkt und in den Schwellenländern weniger stark wächst als erwartet. Derzeit werden jährlich etwa 130 Exajoule an Biomasse für die Fleischproduktion genutzt. Etwa die Hälfte davon wird auf Weideflächen gegrast, die für den Ackerbau nicht oder schlecht geeignet sind, die andere Hälfte stammt von Ackerland. Damit werden rund 47 Prozent der globalen Biomasse von Ackerland für die Tierfütterung eingesetzt, weit mehr als direkt zur pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion verwendet werden.⁵³ Bei einer rein veganen Ernährung könnten von der gleichen Fläche etwa doppelt so viele Menschen ernährt werden wie heute.⁵⁴

Bisher trägt Biomasse vom Acker lediglich 7 bis 8 Prozent zur globalen Bioenergienutzung bei, der Großteil der energetisch genutzten Biomasse ist Holz (etwa 85 Prozent).⁵⁵

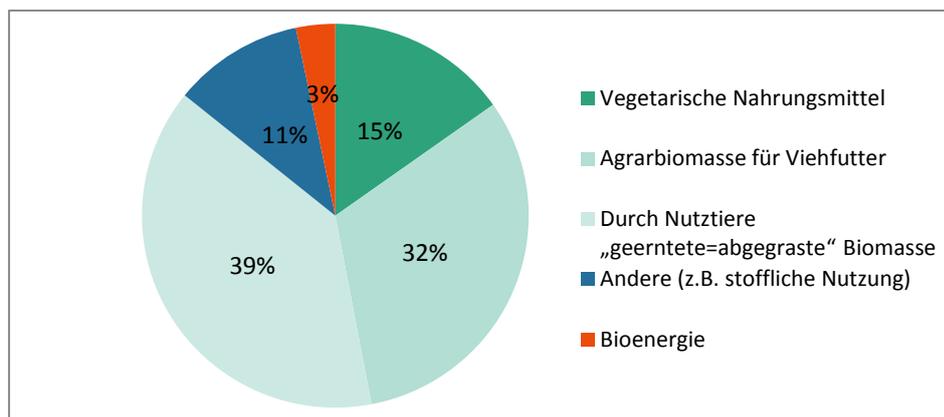


Abbildung 2: Globale Nutzung der Agrarbiomasse (Quelle: Rogner et al. 2012)

Relativ unkritisch ist die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen. Gegenwärtig werden zwei Drittel des technischen Potenzials der Rest- und Abfallstoffe in Deutschland bereits stofflich oder energetisch genutzt (67,4 Millionen Tonnen Trockensubstanz). Es steht ein ungenutztes Potenzial von 30,9 Millionen Tonnen Trockensubstanz an Rest- und Abfallstoffen zur Verfügung, was einem Energiegehalt von etwa 125 Terawattstunden (0,448 Exajoule) entspricht.⁵⁶

Die Treibhausgasbilanz von Bioenergie ist umstritten

Um den Klimaschutzbeitrag von Bioenergie richtig einzuschätzen, ist es wichtig, die Treibhausgasbilanz über den gesamten Lebenszyklus möglichst vollständig zu erfassen. Während die direkten Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Lachgasemissionen, Energieaufwand) messbar sind und sich daher eher

⁵² Erb et al. 2009.

⁵³ Smith et al. 2014.

⁵⁴ Erb et al. 2016.

⁵⁵ WBA 2017.

⁵⁶ Brosowski et al. 2015.

quantifizieren lassen, werden die Rückwirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung in Vegetation und Boden unter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern kontrovers diskutiert. Bei Waldbiomasse spielen hierbei unter anderem die langsamen Wachstumszyklen von Bäumen eine Rolle. Wird Holz für die Energiegewinnung geerntet und werden in gleichem Maß wieder Bäume nachgepflanzt, so wird das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ durch die nachwachsenden Bäume wieder gebunden – dieser Effekt dauert allerdings mehrere Jahrzehnte. Fachleute sprechen hierbei von einer „Kohlenstoffschuld“, die abgegolten werden muss, bis Bioenergie durch die Verdrängung fossiler Energieträger zu einer wirklichen Emissionsminderung beiträgt. Dies ist natürlich auch im Hinblick auf den potenziellen Beitrag der Bioenergie zum Erreichen der Klimaschutzziele bis zum Jahr 2030 oder 2050 zu berücksichtigen. Einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bezweifeln, ob die energetische Nutzung von Forstprodukten damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

Bei der Nutzung landwirtschaftlicher Rohstoffe als Energieträger stellen sogenannte „indirekte Landnutzungsänderungen“ das größte Problem für die Abschätzung der Treibhausgasemissionen dar. Wird beispielsweise eine bestehende Agrarfläche für den Anbau von Energiepflanzen genutzt, auf der zuvor Pflanzen für die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln angebaut wurden, kann dies dazu führen, dass an anderer Stelle für deren Produktion neue Flächen erschlossen werden. Möglicherweise wird dafür Wald gerodet, was den Beitrag der Bioenergie zum Klimaschutz stark reduziert. Solche indirekten Landnutzungsänderungen sind marktbaasierte Rückkopplungseffekte, die nicht direkt messbar sind, sondern nur modellbasiert abgeschätzt werden können, wobei die zugrundeliegenden Annahmen und Berechnungsmethoden kontrovers sind.

Verdrängungseffekte können vermieden oder abgemildert werden, wenn mit dem Bioenergieanbau eine Steigerung der Erträge einhergeht, weil etwa die Erlöse der Bioenergieproduktion effizientere landwirtschaftliche Praktiken ermöglichen. Im Idealfall können die Energiepflanzen auf der gegebenen Fläche zusätzlich angebaut werden, ohne die bisherige Produktion an Nahrungs- und Futtermitteln zu verdrängen.⁵⁷

Unter Einbeziehung der Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung in Vegetation und Boden kann Biomasse nur dann als CO₂-neutral gelten, wenn

- sie ohne die energetische Nutzung schnell verrotten würde (Rest- und Abfallstoffe), oder
- Land und Vegetation so bewirtschaftet werden, dass sie mehr CO₂ aufnehmen als sie ohne die Bioenergienutzung aufnehmen würden (unter Berücksichtigung indirekter Landnutzungseffekte).⁵⁸ Ein Beispiel ist das Anlegen von Kurzumtriebsplantagen⁵⁹ auf Weideland.

Zusätzlich stellt sich die Frage, ob man durch alternative Formen der Landnutzung stärker zum Klimaschutz beitragen könnte als durch den Anbau von Biomasse zur Energiegewinnung. Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass in der aktuellen Vegetation nur etwa halb so viel Kohlenstoff gespeichert ist als in der natürlichen, vom Menschen unberührten Vegetation gebunden wäre.⁶⁰ Der Klimaschutzbeitrag, der durch den Ersatz von Erdgas, Erdöl und Kohle mit Biomasse erzielt wird, sollte daher mit einer möglichen CO₂-Aufnahme durch Erhöhung des Kohlenstoffbestands in der Vegetation gegengerechnet werden.

Die großen Unsicherheiten im Hinblick auf die Treibhausgasbilanz von Bioenergie aus Waldbiomasse und aus landwirtschaftlicher Biomasse legen vielleicht nahe, lediglich Rest- und Abfallstoffe energetisch zu nutzen und auf den Anbau von Biomasse für die energetische Nutzung komplett zu verzichten. Dies birgt allerdings das

⁵⁷ Die Auswirkungen der intensiveren Landwirtschaft, insbesondere Düngemittel, auf Treibhausgasbilanz und Umwelt müssen allerdings ebenfalls berücksichtigt werden.

⁵⁸ Haberl et al. 2012.

⁵⁹ Auf Kurzumtriebsplantagen werden schnell wachsende Baumarten wie Pappeln oder Weiden angebaut, die im Alter von zwei bis zwanzig Jahren geerntet werden (LWF 2018).

⁶⁰ Erb et al. 2018.

Risiko, dass die Energiewende technisch erschwert und verteuert wird und die Klimaschutzziele durch den anhaltenden Einsatz von fossilen Energieträgern verfehlt werden. Dies sind Aspekte der energetischen Biomassenutzung, die es für die Gestaltung einer klugen Bioenergie- und Klimaschutzpolitik weiter zu erörtern und zu diskutieren gilt.

Die begrenzten Bioenergiepotenziale möglichst systemdienlich einsetzen

Angesichts der begrenzten Potenziale und ökologischen Risiken von Bioenergie sollte der Fokus eher auf einer Umnutzung bisher energetisch genutzter Biomasse liegen als auf der Erschließung zusätzlicher Biomasse. Bioenergie sollte so eingesetzt werden, dass der Nutzen für das Gesamtsystem möglichst groß ist. Als gut speicherbarer und sehr vielseitig einsetzbarer Energieträger sollte Biomasse daher diejenigen Funktionen im Energiesystem übernehmen, die durch andere erneuerbare Energien nicht oder nur zu sehr hohen Kosten erfüllt werden können. Bioenergie kann also gewissermaßen die Rolle eines „Lückenfüllers“ übernehmen. Die Lücken sind vielfältig: Solange es keine Langzeitspeicher gibt beziehungsweise diese noch sehr teuer sind, spielt Bioenergie eine wichtige Rolle, um die schwankende Einspeisung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen auszugleichen und damit eine sichere und bezahlbare Stromerzeugung zu ermöglichen. Mit zunehmender Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr (Sektorkopplung) kann Bioenergie zur Stabilisierung der gesamten Energieversorgung beitragen, da sie in allen Sektoren flexibel einsetzbar ist. In der längerfristigen Perspektive bis 2050 gewinnen der Einsatz von Bioenergie in Hochtemperaturprozessen in der Industrie sowie kohlenstoffbasierte Energieträger für Schiffe, Flugzeuge und Schwerlastverkehr an Bedeutung. Die Erwartungen an die Bioenergie verändern sich dabei ständig in Abhängigkeit von der Entwicklung des restlichen Energiesystems, beispielsweise der Verbreitung der Elektromobilität sowie der Entwicklung von Speichern und Verfahren, um Brenn- und Kraftstoffe aus Wind- und Photovoltaikstrom zu erzeugen (Power-to-Gas, Power-to-Liquid). Für Innovationen sind solche Ungewissheiten ein großes Hindernis: sich ständig ändernde Anforderungen an Produkte und Technologien verhindern die kontinuierliche Entwicklung und sind wenig investitionsfördernd.

Ohne CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre sind die langfristigen Klimaschutzziele nicht erreichbar

Um die Erderwärmung wie im Pariser Klimaschutzabkommen vereinbart unter 2°C oder möglichst sogar bei 1,5°C zu halten, müssen die Treibhausgasemissionen nach 2050 auf null reduziert werden.⁶¹ Dies ist nach aktuellem Kenntnisstand nur möglich, wenn der Atmosphäre wieder CO₂ entzogen wird.⁶² Abbildung 3 zeigt am Beispiel eines Szenarios für das 2°C-Ziel, wie durch das Zusammenspiel von CO₂-Vermeidung und CO₂-Entnahme das gesamte weltweite CO₂-Budget eingehalten werden kann.

⁶¹ Das europäische Parlament stimmte dafür, die EU im Rahmen der Governance-Verordnung darauf zu verpflichten, bereits bis 2050 komplett treibhausgasneutral zu werden (net zero emissions).

⁶² So gelingt es in keinem einzigen bisher gerechneten Szenario, ohne CO₂-Entnahmetechnologien die Erderwärmung bis 2100 auf unter 1,5°C zu halten (UNEP 2017).

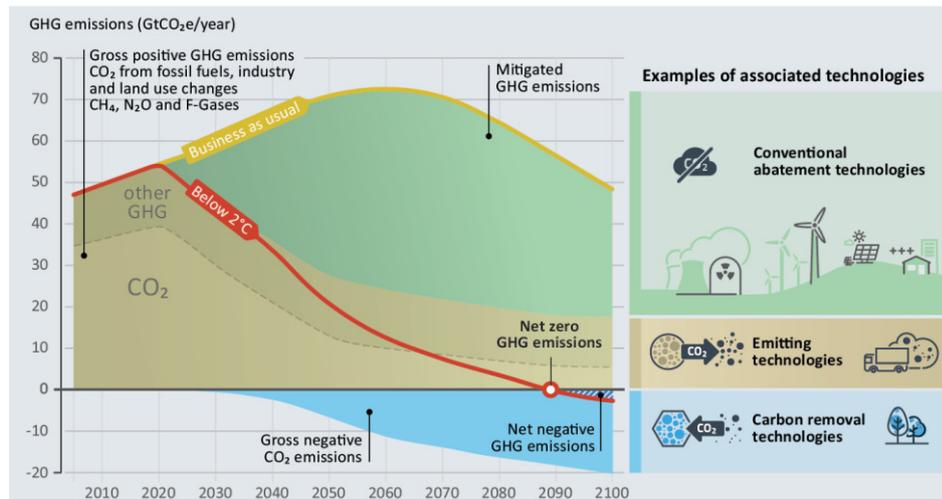


Abbildung 3: CO₂-Vermeidung und negative Emissionen zum Erreichen der Klimaschutzziele. Das dargestellte Szenario führt mit mindestens 66 Prozent Wahrscheinlichkeit dazu, dass die Erderwärmung auf unter 2°C gegenüber vorindustrieller Temperaturen begrenzt wird. Die weltweiten CO₂-Emissionen werden gegenüber heute um etwa 90 Prozent reduziert. Da die restlichen Treibhausgase schwierig zu vermeiden sind, werden sie durch die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre ausgeglichen. Am Ende des Jahrhunderts sind die Emissionen netto-negativ, das heißt, der Atmosphäre wird mehr CO₂ entzogen als Treibhausgase ausgestoßen werden. CO₂-Entnahmetechnologien kommen jedoch bereits ab etwa 2030 zum Einsatz.⁶³

Es ist wichtig hervorzuheben, dass CO₂-Entnahme und -Einlagerungstechnologien beim Klimaschutz keinen Ersatz für die Vermeidung von Treibhausgasemissionen darstellen können, sondern diese ergänzen. Der Hauptfokus muss auf der Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch Reduktion des Energieverbrauchs und auf einer Abkehr von fossilen Energieträgern liegen. Doch selbst extrem optimistische Szenarien prognostizieren für das Jahr 2050 und darüber hinaus für Deutschland unvermeidbare Emissionen in Höhe von mindestens 60 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Etwa 70 Prozent davon stammen aus der Landwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft, ein Viertel aus der Industrie und etwa 5 Prozent aus Abfall und Abwasser.⁶⁴ Um die Emissionen insgesamt auf null zu bringen, muss der Atmosphäre mindestens dieselbe Menge – also 60 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr – entzogen werden. Während die industriebedingten Emissionen mit konventioneller CCS-Technologie reduziert werden können, erfordern die Emissionen aus dem Landnutzungssektor CO₂-Entnahmetechnologien, die CO₂ direkt aus der Luft aufnehmen können. Um die Emissionen aus der Landnutzung komplett mit BECCS zu kompensieren, würde etwa die Hälfte der aktuellen Bioenergiebereitstellung in Deutschland um CCS erweitert werden müssen.

Neben BECCS gibt es weitere Möglichkeiten, der Atmosphäre CO₂ zu entziehen. Einen Überblick bietet Tabelle 1. Bei den meisten CO₂-Entnahmetechnologien besteht noch großer Forschungsbedarf im Hinblick auf Potenziale, Umweltauswirkungen und Kosten. CCS-Technologien sind vergleichsweise weit entwickelt. Verfahren, die darauf abzielen, den Kohlenstoffgehalt in Boden und Vegetation erhöhen, sind nach heutiger Schätzung meist kostengünstiger als Verfahren wie BECCS oder Direct-Air-Capture, bei denen das CO₂ technisch abgetrennt wird. Allerdings ist dabei ungewisser, wie lange der Kohlenstoff gespeichert bleibt.⁶⁵

⁶³ Grafik aus UNEP 2017.

⁶⁴ z.B. die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ (UBA 2014). In dieser Studie wird eine komplette Umstellung des Energie- und Verkehrssektors auf erneuerbare Energien, Halbierung des Energieverbrauchs in Haushalten, Verkehr, Industrie und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen gegenüber 2010, Reduktion des Fleischkonsums um 25 bis 55 Prozent, massiver Ausbau der Elektrostahlerzeugung sowie eine komplette Umstellung der chemischen Industrie auf regenerative Kohlenstoffquellen bis 2050 gefordert.

⁶⁵ UNEP 2017, Chapter 7.

Verfahren	Wie funktioniert es?
Direct-Air-Capture	CO ₂ wird mithilfe von chemischen Bindemitteln aus der normalen Umgebungsluft entfernt und unterirdisch eingelagert. Da die Konzentration des CO ₂ in der Luft gering ist, ist der Energiebedarf relativ hoch. Ein Vorteil ist, dass kein Ackerland benötigt wird.
Bioenergie mit CCS (BECCS)	Pflanzen nehmen CO ₂ auf und wandeln es mithilfe von Sonnenlicht in energiereiche Kohlenstoffverbindungen um. Diese werden zur Energiegewinnung verbrannt, das dabei entstehende CO ₂ wird abgetrennt und unterirdisch eingelagert.
Aufforstung	Bäume nehmen CO ₂ aus der Atmosphäre auf und speichern den Kohlenstoff im Holz. Durch Ernte von Holz und Verbauen in langlebigen Produkten kann das Potenzial erhöht werden.
Biochar/Biokohle	Verkohlte Biomasse wird in den Boden eingearbeitet. Durch die Verkohlung wird die Verrottung verhindert. Der Kohlenstoff wird daher nicht (oder erst nach sehr langer Zeit) wieder als CO ₂ freigesetzt. Die langfristige Stabilität der Biokohlen wird derzeit erforscht.
Soil Carbon Sequestration	Durch Aufforstung oder den Anbau bestimmter Kulturpflanzen wird die Kohlenstoffspeicherung im Boden erhöht.
Restaurierung mariner Habitats wie Mangrovenwälder	Ökosysteme wie Moore oder Mangrovenwälder speichern viel Kohlenstoff in Vegetation und Boden. Ihre Wiederherstellung kann auch zum Erhalt der Artenvielfalt beitragen. Kurzfristig könnten allerdings zusätzliche Methan- und Stickoxidemissionen die Erderwärmung verstärken.
Enhanced Weathering	Natürliche Mineralien reagieren mit CO ₂ und binden auf diese Weise den Kohlenstoff im Gestein. Um die Reaktion zu beschleunigen, werden die Mineralien fein zermahlen und großflächig verteilt.

Tabelle 1: CO₂-Entnahmetechnologien

BECCS ist die einzige CO₂-Entnahmetechnologie, die neben den negativen Emissionen Energie liefert. Im Gegensatz etwa zur Aufforstung oder Biokohle könnte BECCS den Ausbaubedarf an Windkraft- und PV-Anlagen sowie Speichern reduzieren. Bei Direct-Air-Capture ist zwar der Flächenbedarf für die CO₂-Aufnahme gering, der Energiebedarf jedoch hoch. Um die unvermeidbaren Emissionen aus dem Landnutzungssektor aufzunehmen, könnte Energie in der Größenordnung von rund 100 Terawattstunden (0,36 Exajoule) benötigt werden⁶⁶ – das entspricht etwa einem Sechstel des heutigen Stromverbrauchs. Dieser zusätzliche Energiebedarf müsste über weitere Windkraft- und Solaranlagen gedeckt werden.

Langfristig kann mit BECCS pro Hektar mehr CO₂ aus der Atmosphäre entnommen werden als mit der Aufforstung durch ungenutzten Wald. Denn ein Wald erreicht nach einigen Jahrzehnten ein Gleichgewicht, in dem der Holzzuwachs kompensiert wird durch absterbendes Material, das sich zu CO₂ zersetzt. Netto wird dann kein CO₂ mehr aufgenommen. Bei BECCS oder der Entnahme von Holz zum Bauen hingegen kann die Fläche dauerhaft CO₂ aufnehmen, da beständig Holz nachwachsen kann und das CO₂ aus dem entnommenen Holz dauerhaft der Atmosphäre entzogen bleibt (eingelagert mit CCS oder gebunden im Bauholz).

Klimaschutzszenarien gehen davon aus, dass zukünftig bis zu sieben Mal so viel Bioenergie eingesetzt wird wie heute, davon drei Viertel in Kombination mit CCS.⁶⁷ Hervorzuheben ist dabei, dass der hohe Bedarf an Bioenergie nicht allein durch BECCS verursacht wird. So ist in Szenarien ohne BECCS der CO₂-Preis höher, was zu einer höheren Zahlungsbereitschaft für CO₂-arme Energieträger führt. Klimaschutzszenarien, die auf BECCS verzichten, zeigen daher einem ähnlich hohen Bioenergieeinsatz.⁶⁸

⁶⁶ Bei einem spezifischen Energiebedarf von 8 Gigajoule pro Tonne CO₂ (2.222 kWh/t). Der zukünftige Energiebedarf von Direct Air Capture ist aber noch mit hoher Unsicherheit behaftet.

⁶⁷ AR5 database (IIASA 2015).

⁶⁸ Basierend auf Daten der EMF-27 Scenario Database (IIASA 2012).

Fragestellungen im Hinblick auf nachhaltig nutzbare Bioenergiepotenziale, Umweltauswirkungen und Nahrungsmittelkonkurrenz sind daher unabhängig davon zu klären, ob BECCS eingesetzt wird oder nicht.

Systemdienliche Bioenergie und BECCS brauchen klare politische Rahmenbedingungen und gesellschaftliche Akzeptanz

Bis 2050 stehen im Energiesystem große Umbrüche bevor: Die Energieversorgung muss nahezu vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt werden und eine CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre sollte in die Wege geleitet werden. Im Bereich der Bioenergie heißt dies konkret, dass aktuelle Nutzungen und Technologien in neue Nutzungskonzepte überführt werden müssen. Die Bioenergie sollte dabei einerseits gut mit den anderen erneuerbaren Energien zusammenwirken, andererseits zu negativen CO₂-Emissionen beitragen. Klimaschutz- und Energieszenarien zeigen, wie das technisch gelingen könnte und welche Kosten in etwa insgesamt zu erwarten sind. Der ebenfalls erforderliche gesellschaftliche Transformationsprozess, vom Verhalten verschiedener Akteursgruppen bis hin zu konkreten Marktmodellen, wird in der Regel durch die Modelle jedoch nicht abgebildet.

Derzeit wird Bioenergie zu einem großen Teil in kleinen dezentralen Anlagen – etwa in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung oder in Holzheizungen in Einzelgebäuden – genutzt. Diese Nutzungsarten können heute zwar fossile Energieträger ersetzen und dadurch teilweise sehr kostengünstig CO₂-Emissionen einsparen. Mittel- bis langfristig sind aber voraussichtlich andere Nutzungspfade sinnvoller. Denn Strom lässt sich kostengünstiger und flächeneffizienter mit Windkraft und Photovoltaik erzeugen, Heizwärme kann mit Wärmepumpen sehr effizient aus Strom gewonnen werden. In aktuellen Energieszenarien für Deutschland spielt Bioenergie zur Strom- und Heizwärmeerzeugung daher langfristig eine untergeordnete Rolle. Bioenergie soll in Zukunft eher zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme in der Industrie oder für Kraftstoffe im Flug- und Schwerlastverkehr genutzt werden.⁶⁹ Beispielsweise könnte bei Biogas eine Aufbereitung zu Biomethan an Bedeutung gewinnen. Biomethan kann über das Erdgasnetz transportiert werden und ist wie Erdgas sehr flexibel einsetzbar – etwa zur Stromerzeugung in mehrwöchigen Dunkelflauten, zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme und als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge. Holz könnte zukünftig in Bioraffinerien zu unterschiedlichen stofflichen und energetischen Produkten wie biobasierten Chemikalien, Werkstoffen und Biokraftstoffen verarbeitet werden. Diese Beispiele zeigen, dass komplexere Verfahren zur Umwandlung der Biomasse mit entsprechend größeren, zentraleren Anlagen voraussichtlich in Zukunft wichtiger werden. Dieser Trend besteht auch ohne den Einsatz von BECCS, wird durch BECCS aber verstärkt – denn die Anbindung an eine Infrastruktur für den CO₂-Transport lohnt sich nur für Anlagen, die große Mengen CO₂ produzieren.

Auch wenn aus Sicht des gesamten Energiesystems eine Abkehr von dezentralen Anlagen zu zentralen Nutzungskonzepten sinnvoll erscheint, so muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass mit der Nutzung in dezentralen Anlagen auch bestimmte Bereitstellungskonzepte verbunden sind und regionale Akteure, insbesondere in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft von der bisherigen Nutzung ökonomisch profitieren. Der Übergang von einem dezentralen Einsatz von Bioenergie hin zu zentralen Konzepten geht somit auch mit einer Änderung der Bereitstellungskonzepte und der beteiligten Akteure einher. Am Beispiel der Brennholznutzung bedeutet dies, dass Holz, welches heute oftmals noch mittels Selbstwerbung oder regionale Brennholzhändler bereitgestellt wird, in Zukunft bspw. zentral gelegenen Bioraffinerien zugeführt werden müsste. Wie ein solcher Übergang angesichts der regionalökonomischen Bedeutung der Bioenergienutzung in vielen ländlichen Regionen Deutschlands und der zu erwartenden Akzeptanzprobleme bei der Umlenkung von Biomasseströmen gestaltet werden kann, muss von Beginn an mitgedacht werden.

⁶⁹ acatech/Leopoldina/Akademienunion 2017, BMWi 2017-2.

Einen relevanten Beitrag zum Klimaschutz kann BECCS aber nur leisten, wenn die Technologie von großen Teilen der Bevölkerung befürwortet oder zumindest toleriert wird. Zudem muss die Politik entsprechende Rahmenbedingungen setzen, die einen wirtschaftlichen Einsatz der Technologie ermöglichen. Obwohl die Akzeptanz von BECCS bisher nur wenig untersucht wurde – insbesondere liegen keine Studien für Deutschland vor – deutet einiges darauf hin, dass fehlende Akzeptanz ein Hemmnis für den Einsatz von BECCS darstellt.⁷⁰

So wird Bioenergie selbst unabhängig von der kritisch gesehenen CCS-Technologie weniger stark befürwortet als andere erneuerbare Energien.⁷¹ Als ein weiterer Nachteil für die Akzeptanz von BECCS könnte sich erweisen, dass CCS eher für große Anlagen geeignet ist und Bioenergie daher aus kleineren, dezentralen Strukturen in solche umgeleitet werden müsste. Kleine, dezentrale Anlagen werden von der Mehrheit der Bevölkerung aber gegenüber großen, zentralen Anlagen bevorzugt.⁷²

Für die Entwicklung einer langfristigen Bioenergiestrategie bedarf es daher einer robusten Entscheidungsgrundlage, die über Klimaschutz- und Energieszenarien hinausgeht. Die verschiedenen Bioenergieoptionen sollten dafür einer möglichst umfassenden, transparenten Bewertung unterzogen werden, die technische, ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Bioenergienutzung berücksichtigt. Dabei muss insbesondere analysiert werden, welche Auswirkungen der Übergang zu anderen Nutzungspfaden in den verschiedenen Bereichen hat. Wenn zum Beispiel statt der Produktion von Biomasse in regionalen Stoffkreisläufen in großem Umfang Biomasse importiert wird oder, wenn zwar negative Klimaemissionen erreicht werden, aber erhöhte lokale Umweltemissionen auftreten, ist dies bei der Entscheidung für oder gegen die neuen Technologien zu berücksichtigen.

Eine umfassende Bewertung verschiedener Transformationspfade könnte ein ständiges Nachsteuern bei der Bioenergiepolitik vermindern und dadurch die Planungssicherheit für Entwickler, Anbieter und Betreiber von Bioenergie-Technologien erhöhen. Auch erfordern die Pfadabhängigkeiten, beispielsweise durch die Nutzungsdauer der Bioenergie-Anlagen, eine frühzeitige Entscheidung, damit die Transformation bis 2050 gelingen kann.

Ansätze für eine nachhaltige Bioenergiestrategie

Um durch die Bioenergie einen möglichst großen Beitrag zum Klimaschutz zu erreichen, hat die Arbeitsgruppe Bioenergie im Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) sechs große Handlungsfelder identifiziert:

1. Technologien für die Reststoffnutzung weiterentwickeln

Die meisten Risiken der Bioenergienutzung hängen mit Rückwirkungen auf die Landnutzung zusammen. Mit Rest- und Abfallstoffen besteht jedoch ein erhebliches Potenzial an Bioenergie, bei dem diese Risiken nicht oder stark vermindert auftreten, und welche zudem positive Effekte auf die Akzeptanz erwarten lassen.⁷³ Technisch gesehen sind Rest- und Abfallstoffe allerdings oft schwieriger zu nutzen als Anbaubiomasse. Zum einen ist ihre Energiedichte teilweise gering, so dass Sammlung und Transport sehr aufwändig sind. Zum anderen weisen sie sehr unterschiedliche und außerdem schwankende Eigenschaften auf, die den Prozess der Energiebereitstellung stören (z.B. höhere Luftemissionen, geringe Ausbeuten, Versinterung des Brennraums, Schaumbildung in Biogasanlagen). Bei der Technologieentwicklung sollte daher ein Schwerpunkt auf Verfahren zur Nutzung von Rest- und Abfallstoffen gelegt werden. Dies umfasst die Entwicklung von Aufbereitungsverfahren zu definierten Zwischenprodukten (durch Wasch- und Trocknungsverfahren, Torrefizierung, Pelletierung) wie auch von speziellen Konversionsverfahren (z.B. Biogassysteme für Reststoffe mit hohen

⁷⁰ Buck 2016.

⁷¹ AEE 2017.

⁷² Ohlhorst 2009, Wüste 2012.

⁷³ Hildebrand et al. 2012.

Stickstoffgehalten, Verbrennungs- und Vergasungssysteme für aschereiche Biomassen, Aufschlussverfahren für Lignozellulose).

2. CO₂-Bepreisung und Zertifizierung

Eine einheitliche und ausreichend hohe CO₂-Bepreisung kann langfristig am effektivsten dazu beitragen, dass die Klimaschutzziele erreicht werden. Eine Voraussetzung dafür ist, alle Sektoren inklusive der Landwirtschaft und alle Treibhausgase in den Emissionshandel einzubeziehen. Dies würde dazu führen, dass Bioenergie im Energiesystem automatisch dort eingesetzt wird, wo andere klimafreundliche Technologien besonders teuer wären. Zudem würde eine klimafreundliche Landnutzung angereizt werden. Gelänge es einen weltweit einheitlichen CO₂-Preis zu etablieren, würde dies daher auch das Problem beseitigen, die Treibhausgasemissionen der „indirekten Landnutzungsänderungen“ abschätzen zu müssen.

Da ein global einheitlicher CO₂-Preis auf absehbare Zeit unrealistisch ist, könnten zunächst Zertifizierungssysteme eingesetzt werden, um die Treibhausgasemissionen von Biomasseanbau und -verarbeitung zu berücksichtigen. Im Biokraftstoffsektor besteht schon viel Erfahrung mit der Bilanzierung und Zertifizierung von Emissionen. Diese Zertifizierungssysteme müssten auf alle anderen landwirtschaftlichen Erzeugnisse ausgeweitet werden, um mehr Wirksamkeit zu entfalten. Eine große Herausforderung dabei wäre es, eine effiziente Balance aus administrativen Kosten für die Zertifizierung einerseits und eine möglichst genaue Erfassung der CO₂-Emissionen des einzelnen Anbauers bzw. Verarbeiters von Biomasse andererseits zu finden. Dazu könnten Standardwerte angesetzt werden aber gleichzeitig jedem Anbauer bzw. Verarbeiter die Möglichkeit eingeräumt werden, eine bessere Performance individuell nachzuweisen.

Problematisch bleiben indirekte Landnutzungsänderungen, solange die Treibhausgasemissionen der Land- und Forstwirtschaft nicht global kontrolliert werden. Ein erster wichtiger Schritt bestünde in einer verstärkten weltweiten Kontrolle von Entwaldung, dem größten Verursacher der schwer quantifizierbaren indirekten Landnutzungsänderungen.

Die Treibhausgasbilanz von Waldbiomasse sollte weiter erforscht werden, sodass es hier schnell zu einem wissenschaftlichen Konsens kommt und der mögliche Beitrag zum Klimaschutz zuverlässiger eingeschätzt werden kann.

3. Einbeziehung der Landwirtschaft

Ein Großteil der Treibhausgasemissionen bei dem Einsatz von Bioenergie stammt aus der Landwirtschaft. Auch durch andere Umweltauswirkungen und die Konkurrenz um Flächen mit der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung ist Bioenergie eng mit der Landwirtschaft verwoben. Diese Schnittstelle stellt einen Sonderfall im Vergleich zu anderen Energiequellen dar. Bioenergie ist daher im Grunde ein Querschnittsthema, das eine Abstimmung von Klimapolitik, Energiepolitik und Agrar- und Umweltpolitik erfordert. Für eine „optimale“ Bioenergienutzung muss sowohl der Systembeitrag im Energiesystem als auch im Landnutzungssystem berücksichtigt werden. Langfristig wünschenswert wäre daher eine Klimapolitik, die Energiesystem und Landnutzung als ein integriertes System zusammen denkt.

4. Wegweiser für Transformationspfade entwickeln

Bioenergie wird heute sowohl in Deutschland als auch weltweit umfassend genutzt und spart Klimagase ein. Die beschriebenen neuen Nutzungen erfordern daher ein Umlenken der aktuellen Biomasseströme, verbunden mit neuen Beteiligten, Geschäftsmodellen und einer veränderten Integration vor Ort. In der Diskussion umfassend dargestellt sind die für 2050 erwarteten Systembeiträge und die damit verbundenen technischen Konzepte. Wie der Weg dorthin aussehen soll, bleibt jedoch unklar. Offene Fragen sind zum Beispiel: In welchem Umfang müssen Speicheroptionen für Wind und Photovoltaik gegeben sein, damit Bioenergie als Ausgleich im Strombereich nicht mehr benötigt wird? Ab welcher Anzahl an Elektroautos ist es sinnvoll, Biokraftstoffe in andere Anwendungsbereiche zu verschieben? Bei welchen Aufwendungen ist BECCS gegenüber einer erhöhten Stromerzeugung und Direct-Air-Capture vorzuziehen?

5. Infrastruktur für den CO₂-Entzug (negative Emissionen) schaffen

Nach heutigem Kenntnisstand können die langfristigen Klimaschutzziele nur erreicht werden, wenn der Atmosphäre CO₂ entzogen wird. Sollen BECCS und andere Negativ-Emissionstechnologien in einigen Jahrzehnten einen relevanten Beitrag zum Klimaschutz leisten, müssen schon bald erste großskalige Anlagen in Betrieb gehen. Gerade im Hinblick auf die niedrige Akzeptanz von CCS sollte dies in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion unter Einbindung möglichst vieler Stakeholder stärker diskutiert werden.

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von BECCS und Direct-Air-Capture ist der Aufbau einer Infrastruktur für CO₂-Transport und -Speicherung. Da CCS aller Voraussicht nach auch für unvermeidbare Prozessemissionen aus der Industrie benötigt wird, könnte der Aufbau der Infrastruktur zunächst für diese Emissionen erfolgen und Negativ-Emissionstechnologien könnten sukzessive eingebunden werden.

Neben BECCS sollten auch alternative Negativ-Emissionstechnologien weiter erforscht und entwickelt werden. Denn aufgrund der Unsicherheiten bei der Treibhausgasbilanz, Zielkonflikten, den Wechselwirkungen mit den Landnutzungssystemen und die Unvorhersehbarkeit der technologischen Entwicklungen kann man heute noch nicht mit Sicherheit sagen, wie viel Biomasse auf lange Sicht im Energiesystem eingesetzt werden sollte. Voraussichtlich können die erforderlichen negativen Emissionen mit BECCS alleine nicht erreicht werden. Ein relativ sicheres Bioenergiepotenzial sind Rest- und Abfallstoffe. Daher sollte untersucht werden, inwieweit diese für BECCS genutzt werden könnten.

6. Den rechtlichen Rahmen für eine systemdienliche und BECCS-fähige Bioenergienutzung entwickeln

Mit Blick auf die Energiewende ist gewiss, dass Bioenergie eine wichtige Rolle beim Übergang auf erneuerbare Energien und bei der Sektorkopplung einnehmen kann. Der rechtliche Rahmen hierfür braucht aber eine weitere Ausgestaltung. Hier sind zum Beispiel das Zusammenspiel von Biomasse und Power-to-X zu nennen, das gegenwärtig nicht EEG-konform realisierbar ist, oder die Kombination von verschiedenen erneuerbaren Energien im Wärmebereich, die vom Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) nicht honoriert werden.

Bisher wurde CCS in Zusammenhang mit der Braunkohleverstromung diskutiert. Bei der Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen sollten Anwendungsfälle für Industrieemissionen und BECCS, bei denen das CO₂ in kleineren Mengen anfällt als bei einem typischen Braunkohlekraftwerk, zukünftig in die Überlegungen mit einbezogen werden. Zudem sollte erforscht werden, ob und wie sich die Akzeptanz von CCS verändert, wenn das eingelagerte CO₂ nicht aus der Kohleverstromung stammt, sondern das aus der Atmosphäre entnommen wurde.

Wichtig ist auch die Frage, wie negative Emissionen angerechnet werden. Sollen sie mit Zertifikaten des europäischen Emissionshandels verrechnet oder in einem eigenständigen System ausgeschrieben werden? Welcher CO₂-Preis würde notwendig sein, um die Einführung und den Einsatz von BECCS sicherzustellen? Muss die Energiepolitik zusätzliche Anreize schaffen, um die CCS-Infrastruktur aufzubauen, die BECCS-Technologie

weiterzuentwickeln und zur Anwendung zu bringen und die Biomassepotenziale in großskalige, BECCS-fähige Strukturen umzulenken? All dies sind Aspekte, die erforscht und diskutiert werden sollten.

Literatur

AEE 2017

Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Akzeptanzumfrage 2017. Grafik-Dossier. <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-akzeptanzumfrage-2017> [Stand: 09.02.2018].

acatech/Leopoldina/Akademienunion 2017

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V./Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V./Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. (Hrsg.): „Sektorkopplung“ – Optionen für die nächste Phase der Energiewende (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), Berlin 2017.

Azar et al. 2006

Azar, C./Lindgren, K./Larson, E./Möllersten, K.: "Carbon Capture and Storage from Fossil Fuels and Biomass – Costs and Potential Role in Stabilizing the Atmosphere". In: *Climatic Change*, 74: 47, 2006.

BMWi 2017-1

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Erneuerbaren Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016*. 2017

BMWi 2017-2

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Langfrist- und Klimaszenarien. 2017, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/langfrist-und-klimaszenarien.html> [Stand: 06.02.2018].

Brosowski et al. 2015

Brosowski, A./Adler, P./Erdmann, G et al.: *Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen und deren aktuelle Nutzung - Status quo in Deutschland*, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 36. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2015.

Buck 2016

Buxk, H.J.: „Rapid scale-up of negative emissions technologies: social barriers and social implications.“ In: *Climatic Change*, 139 (2), 2016, S. 155–167.

EASAC 2018

European Academies Science Advisory Council (EASAC): *Negative emission technologies: What role in meeting Paris Agreement targets?* EASAC policy report 35, Februar 2018.

Erb et al 2009

Erb, K.-H., H. Haberl, F. Krausmann, C. Lauk, C. Plutzer, J. K. Steinberger, C. Müller, A. Bondeau, K. Waha, and G. Pollack, 2009: *Eating the planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study*. Report commissioned by Compassion in World Farming and Friends of the Earth, UK. Institute of Social Ecology, Vienna, Austria and Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany.

Erb et al. 2007

Erb, K.-H./Gaube, V./Krausmann, F./Plutzer, C./Bondeau, A./Haberl, H.: „A comprehensive global 5 min resolution land-use dataset for the year 2000 consistent with national census data“. In: *Journal of Land Use Science*, 2 (3), 2007, S. 191–224.

Erb et al. 2016

Erb, K.-H./Lauk, C./Kastner, T./Mayer, A./Theurl, M.C./Haberl, H.: “Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation“. In: *Nature Communications*, 7, 2016, Article number 11382.

Erb et al. 2018

Erb, K.-H./Kastner, T./Plutzer, C./Bais, A. L./Carvalho, N./Fetzel, T./Gingrich, S./Haberl, H./Lauk, C./Niedertscheider, M./Pongratz, J./Thurner, M. Luysaert, S.: “Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass”. In: *Nature*, 553, 2018, S. 73-76.

Haberl et al. 2011

Haberl, H./ Erb, K.-H./Krausmann, F./Bondeau, A./Lauk, C./Müller, C./Plutzer, C./Steinberger, J. K.: „Global bioenergy potentials from agricultural land in 2050: Sensitivity to climate change, diets and yields”. In: *Biomass & Bioenergy*, 35(12), 2011, S. 4753–4769.

Hildebrand et al 2012

Hildebrand, J./Schweizer-Ries, P./Ehrenstein, U./Strauch, S.: “Konflikte bei Biogasanlagen – Ursachen und Lösungsstrategien”. In: *Die Wirtschaftsmediation*, 2/2012, S.43-46.

Hoogwijk et al. 2005

Hoogwijk, M./Faaij, A./Eickhout, B./de Vries, B./Turkenburg, W.: “Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios”. In: *Biomass and Bioenergy*, 29 (4), 2005, S.225–257.

IEA 2017

International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2017.

IIASA 2012

International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): EMF27 Scenario Database. Version 0.9. 2012. <https://tntcat.iiasa.ac.at/EMF27DB/dsd?Action=htmlpage&page=about> [Stand: 09.02.2018].

IIASA 2015

International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): AR5 Scenario Database. Version 1.0.2. Juni 2015. <https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB/dsd?Action=htmlpage&page=about#intro> [Stand: 09.02.2018].

LWF 2018

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Kurzumtriebsplantagen. <http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassennutzung/050535/> [Stand: 09.02.2018].

Lunz 2016

Lunz, B.: *Deutschlands Stromversorgung im Jahr 2050. Ein szenariobasiertes Verfahren zur vergleichenden Bewertung von Systemvarianten und Flexibilitätsoptionen*. Aachener Beiträge des ISEA, Band 82. Shaker Verlag, Aachen, 2016.

Ohlhorst 2009

Ohlhorst, D.: *Windenergie in Deutschland. Konstellationen, Dynamiken und Regulierungspotenziale im Innovationsprozess* (Reihe Energiepolitik und Klimaschutz), Wiesbaden: VS-Verlag 2009.

Rogner et al 2012

Rogner, H.-H./ Aguilera, R. F./Archer, C./Bertani, R./Bhattacharya, S. C./Dusseault, M. B./Gagnon, L./Haberl, H./Hoogwijk, M./Johnson, A./Rogner, M. L./Wagner, H./Yakushev, V.: Chapter 7 - Energy Resources and Potentials. In *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2012, S. 423-512.

Searle/Malins 2015

Searle, S./Malins, C.: “A reassessment of global bioenergy potential in 2050”. In: *GCB Bioenergy*, 7, 2015, S. 328–336.

Smeets et al. 2007

Smeets, E. M. W./Faaij, A. P. C./Lewandowski, I. M./Turkenburg, W. C.: “A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050”. In: *Progress in Energy and Combustion Science*, 33 (1), S. 2007, S. 56–106.

Smith et al. 2014

Smith P./Bustamante, M./Ahammad, H./Clark, H./Dong, H./Elsiddig, E. A./Haberl, H./Harper, R/ House, J./Jafari, M./Masera, O./Mbow, C./Ravindranath, N. H./Rice, C. W./Robledo Abad, C./Romanovskaya, A./Sperling, F./Tubiello,

F.: „Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)“. In: Edenhofer, O./Pichs-Madruga, R./Sokona, Y./Farahani, E./Kadner, S./Seyboth, K./Adler, A./Baum, I./Brunner, S./Eickemeier, P./Kriemann, B./Savolainen, J./Schlömer, S./Stechow, C. von/Zwickel, T./Minx, J. C. (Hrsg.): *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom/New York, USA: Cambridge University Press 2014. URL: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf.

UBA 2014

Umweltbundesamt: *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 – Studie*. Reihe: Climate Change 07/2014.

UNEP 2017

United Nations Environment Programme (UNEP): *The Emissions Gap Report 2017. A UN Environment Synthesis Report*. Nairobi, November 2017.

WBA 2017

World Bioenergy Association (WBA): *Global Bioenergy Statistics*. 2017. http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20GBS%202017_hq.pdf

Wolf et al 2003

Wolf, J./Bindraban, P.S./Luijten, J.C./Vleeshouwers, L.M.: *Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy*. In: *Agricultural Systems* 76(3), 2003, S. 841–61.

Wüste 2012

Wüste, A.: *Gesellschaftliche Akzeptanz unterschiedlicher Biomassenutzungsformen und Erfolgsfaktoren dezentraler Bioenergieprojekte (Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen 24.01.2012)*, 2012. URL: http://www.bioenergie.uni-goettingen.de/fileadmin/user_upload/admin/Konferenz/Vortraege_24-01-12/Wueste_BIS_Tagung_Goe12-01-24.pdf



HUMBOLDT-VIADRINA
Governance Platform

Kontakt

HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH
Pariser Platz 6 (Allianz Forum)
10117 Berlin

Telefon: +49 30 20620 140

Email: energie.trialoge@governance-platform.org

Website: www.governance-platform.org

Bericht vom 02.10.2018

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung