



Fraunhofer
ISI

Kurzfassung

Technologie- und Marktstudie:
**Übersicht über Technologien zur bioinspirierten
CO₂-Fixierung und -Nutzung sowie der Akteure
in Baden-Württemberg**

Bärbel Hüsing, Heike Aichinger, Cornelius Moll, Frank Marscheider-Weidemann, Martin Wietschel

FORSCHUNGSBERICHT BWPLUS

Autorinnen und Autoren der Studie

Bärbel Hüsing (Projektleitung)
Heike Aichinger
Cornelius Moll
Frank Marscheider-Weidemann
Martin Wietschel

unter Mitarbeit von

Ulrich Schmoch (Patent- und publikationsstatistische Analysen)
Silke Just (Assistenz)
Jeanette Braun, Sabine Wurst (Grafische Gestaltung)

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
<https://www.isi.fraunhofer.de>

Die Langfassung des Berichts ist über den Publikationsdienst der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (<https://pudi.lubw.de/>) sowie als Download verfügbar: <http://s.fhg.de/Wxk>. Weiterer Bestandteil des Vorhabens ist die Broschüre „CO₂ und Sonnenenergie – Potenziale für die Bioökonomie“. Sie ist als Download verfügbar: <https://s.fhg.de/xrA>

Bildnachweis

Cover: Rémi Walle für Unsplash

Das Vorhaben wurde gefördert durch das Umweltministerium Baden-Württemberg, im Programm BWPLUS „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ im Kontext der Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie für Baden-Württemberg“. Förderkennzeichen: BWCO2-19001

Wir danken Frau Dr. Elisabeth Saken-Braunstein, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, für ihre aktive Unterstützung durch vielfältige Hinweise und Kommentare, die zum Gelingen des Vorhabens beigetragen haben.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Karlsruhe, August 2020, Überarbeitung im März 2021

Ausgangslage und Zielsetzung

Das Land Baden-Württemberg will bis zum Jahr 2050 Klimagasneutralität erreichen. Hierfür ist zum einen eine weitgehende Defossilisierung nötig, also der Verzicht auf die Nutzung fossiler Rohstoffe zugunsten erneuerbarer und klimagasneutraler Energieträger. Zum anderen muss eine effiziente Senke für Kohlenstoff als Bestandteil von Klimagasen, wie z. B. Kohlenstoffdioxid (CO_2), aufgebaut werden, die möglichst von der Fläche entkoppelt ist. Zudem soll eine Kreislaufführung des Industrierohstoffs Kohlenstoff erreicht werden – unter anderem durch die Nutzung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) als Rohstoff.

In der Studie "Technologie- und Marktstudie: Übersicht über Technologien zur bio-inspirierten CO_2 -Fixierung und -Nutzung sowie der Akteure in Baden-Württemberg" wurden biotechnische oder durch biologisches Wissen inspirierte CO_2 -Fixierungs- und -Nutzungsverfahren identifiziert und bewertet. Diese vom Prinzip der biologischen Photosynthese inspirierten Prozesse stellen einen wichtigen Ansatz in nachhaltigen Bioökonomie dar. Sie beinhalten mindestens einen biotechnischen Schritt und ermöglichen eine sonnenlichtgetriebene Umwandlung von CO_2 in Energieträger und Chemikalien. Es wurden Verfahren identifiziert, die innerhalb weniger Jahre Pilot- und Demonstrationsanlagenreife erlangen könnten und das Potenzial zum Einsatz in industriellen Prozessen im Rahmen einer nachhaltigen Bioökonomie aufweisen.

Baden-Württemberg könnte auf diesem Gebiet eine Vorreiterrolle einnehmen. Es wird eine Roadmap aufgezeigt, wie ein anwendungsnaher Entwicklungsschwerpunkt zum biotechnologischen/bioinspirierten CO_2 -Recycling als Beitrag zu den Klimaschutzzielen 2030/2050 und zur Rohstoffversorgung der Industrie mit Kohlenstoff ausgestaltet werden sollte. Ein solcher Entwicklungsschwerpunkt ist als Maßnahme in der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg sowie im Integrierten Klimaschutzkonzepts (IEKK) vorgesehen und dient der Erreichung der Nachhaltigkeitsziele des Landes.

Vom Prinzip der Photosynthese inspirierte CO_2 -Nutzungs- und Recyclingverfahren

Ein breites Spektrum von Ansätzen ermöglicht eine sonnenlichtgetriebene Umwandlung von CO_2 in Energieträger und Chemikalien: es reicht von rein biotechnischen Verfahren über hybride Verfahren, die technische und biotechnische Prozessschritte kombinieren, bis hin zu rein technischen Verfahren wie Power-to-X und der künstlichen Photosynthese (Abbildung).

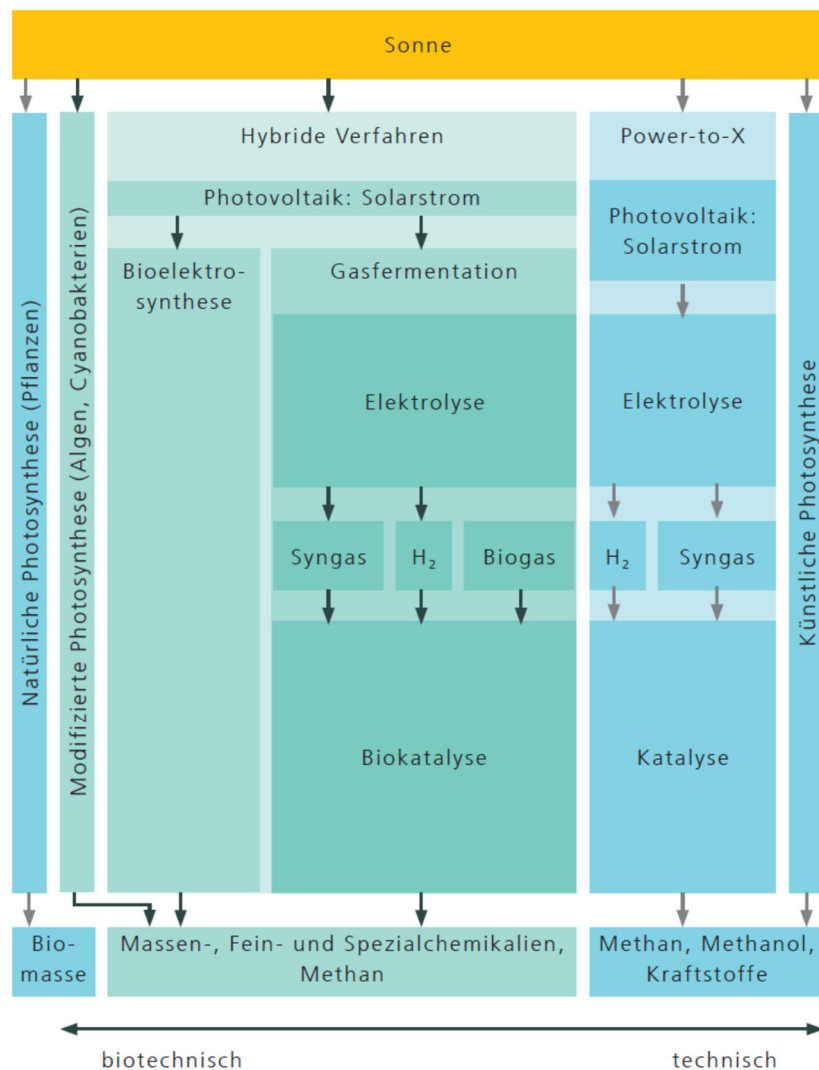


Abbildung: Vom Prinzip der Photosynthese inspirierte CO₂-Nutzungs- und Recyclingverfahren für eine sonnenlichtgetriebene Umwandlung von CO₂ in Energieträger und Chemikalien. Grün: Verfahren mit mindestens einem biotechnischen Schritt

Aktuell befinden sich die meisten biotechnischen und hybriden Ansätze noch in der Phase von Forschung und Entwicklung (in der Abbildung grün gekennzeichnet). Die modifizierte Photosynthese, verschiedene Varianten der Gasfermentation sowie perspektivisch die Elektrobiosynthese könnten jedoch innerhalb weniger Jahre Pilot- und Demonstrationsanlagenreife erlangen und somit das Spektrum weiterer Technologien zum CO₂-Recycling (Referenzverfahren, in der Abbildung blau markiert) sinnvoll ergänzen und erweitern, um Lösungen für unterschiedliche Anforderungen bereitstellen zu können. Biotechnische und hybride Verfahren könnten beispielsweise das Produktspektrum in Richtung höherwertiger, d.h. langkettiger und hoch funktionalisierter organischer Moleküle erweitern, wohingegen Power-to-X-Verfahren vorrangig auf die

Bereitstellung einfacher organischer Verbindungen wie z.B. Methan oder Methanol als chemische Energieträger und Kraftstoffe abzielen. Anknüpfungspunkte, Synergien und Komplementaritäten zwischen diesen verschiedenen Ansätzen sind weiter aktiv auszuloten und auszuschöpfen.

Potenziale für und in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg verfügt mit seinen universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Hochschulen sowie Unternehmen über hervorragende, einschlägige Kompetenzen in der lebenswissenschaftlichen, energie- und klimabezogenen Forschung mit Relevanz für die biotechnische und bioinspirierte CO₂-Fixierung und -Nutzung.

Zusammen mit der frühzeitigen politisch-strategischen Schwerpunktsetzung auf dem CO₂-Recycling mit biotechnischen und bioinspirierten Ansätzen sowohl in der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie als auch im Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) weist Baden-Württemberg sehr gute Voraussetzungen auf, eine Vorreiterrolle in diesem Technologiefeld einzunehmen, es national und international mitzugestalten und mittelfristig auch wirtschaftlich davon zu profitieren.

In der baden-württembergischen Wirtschaft können biotechnische oder bioinspirierte Verfahren zur CO₂-Nutzung perspektivisch als Klimaschutztechnologie-Option von Interesse sein für CO₂-emittierende Industrien, für Komponenten-, Maschinen- und Anlagenbau als Ausrüster von CO₂-Recyclingprozessen, für die Chemieindustrie als Nutzer von CO₂ als Rohstoffbasis sowie für die verarbeitende Industrie als Verarbeiter von Chemikalien und Materialien auf Basis des recycelten Kohlenstoffs bzw. der daraus hergestellten Kohlenstoffverbindungen. Baden-württembergische Akteure können sich mit dem Ziel der Technologieführerschaft als national und international wichtige Kompetenzträger und gesuchte Kooperationspartner positionieren. Allerdings sind diese Optionen und ihre Potenziale bei Unternehmen bisher kaum bekannt.

Während die Power-to-X- und Wasserstofftechnologien-Communities in Baden-Württemberg bereits gut aufgestellt und vernetzt sind und Entwicklungen zur Pilot- und Demonstrationsanlagenreife vorangetrieben haben, muss das Aufgreifen von biotechnischen und bioinspirierten Verfahren zum CO₂Recycling in Forschung und Entwicklung und die Bildung einer entsprechenden, mit den Power-to-X- und Wasserstofftechnologien vernetzten Community aktiv herbeigeführt werden, um die in Baden-Württemberg vorhandenen Innovationspotenziale in einem interdisziplinären und branchenverbindenden Ansatz tatsächlich zu erschließen.

Empfehlungen

1. Forschungs- und Förderbedarf. Für die Verfahren der biotechnischen und bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung ergibt sich ein mehrjähriger FuE-Bedarf, um diese Verfahren bis zur industriellen Anwendungsreife entwickeln zu können. Sowohl in Deutschland als auch auf EU-Ebene gibt es - über die Förderung einzelner Projekte hinaus - eine Förderlücke, die durch einen größeren anwendungsorientierten Entwicklungsschwerpunkt in Baden-Württemberg geschlossen werden sollte.

2. Entwicklungsschwerpunkt. Die Anforderungen an einen solchen gemeinsam mit angewandter Forschung und Industrie aufzubauenden Entwicklungsschwerpunkt zur biobasierten und bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung sind in der Tabelle aufgeführt.

Tabelle: Anforderungen an einen Entwicklungsschwerpunkt zum biotechnischen/bioinspirierten CO₂-Recycling in Baden-Württemberg

Anforderungen
Anwendungsorientierte und industrierelevante Forschung und Entwicklung mit dem Ziel, in wenigen Jahren das Entwicklungsstadium von Pilotanlagen (TRL 4-5) oder Demonstrationsanlagen (TRL 6-7) erreichen zu können
Gemeinsame Erarbeitung der anwendungsorientierten und industrierelevanten FuE-Themen und -Ziele durch Forschungseinrichtungen und Industrie
Disziplinen- und einrichtungsübergreifende Zusammenführung der erforderlichen Kompetenzen
Mit zunehmender Reife der biotechnischen Ansätze zunehmende Rolle von Unternehmen in den geförderten Projekten
Förderinstrumentarium trägt dem aktuell unterschiedlichen Entwicklungsstand und der wahrscheinlich unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeit der verschiedenen biotechnischen und bioinspirierten Ansätze Rechnung
Unterstützung der Konsortien- und Netzwerkbildung
Offenheit zum Aufgreifen neuer FuE-Themen und Integration neuer FuE-Kompetenzen und -Akteure
Vergleichende Bewertung der biotechnischen und bioinspirierten Verfahren zur CO ₂ -Nutzung mit komplementären oder konkurrierenden Ansätzen als integraler Bestandteil des Schwerpunkts
Regelmäßige Überprüfung und Anpassung der FuE-Themen und -Ziele, der erforderlichen Kompetenzen sowie des Förderinstrumentariums wegen der sich dynamisch verändernden Rahmenbedingungen (z. B. Klimaschutzziele, Entwicklung anderer Technologien, Akteurslandschaft, internationale Entwicklungen)

Auf dieser Basis wird ein ganzheitliches Konzept empfohlen, das mehrere, zeitlich gestaffelte und miteinander verbundene Module umfasst (Abbildung) und auf einen Zeitraum von etwa 8 bis 10 Jahren angelegt ist. Kern des Entwicklungsschwerpunkts

sind mehrere aufeinander aufbauende Förderphasen für interdisziplinäre FuE-Verbundprojekte. Sie werden flankiert von verschiedenen Maßnahmen, die in der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie vorgesehen sind.

Ziel des Entwicklungsschwerpunkts ist es, vielversprechende Verfahren der biotechnischen und bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung zur Demonstrationsreife zu bringen, eine international sichtbare und kompetitive Community zu etablieren und die Basis für neue, branchenverbindende Wertschöpfungsnetze zu legen.

3. Förderphasen und interdisziplinäre FuE-Verbundprojekte. Kern des Entwicklungsschwerpunkts sind FuE-Aktivitäten in Form interdisziplinärer Verbundprojekte zur biotechnischen und bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung, die in mehreren aufeinanderfolgenden Förderphasen durchgeführt werden. Ziel ist, mit Durchlaufen dieser Förderphasen das jeweilige Verfahren zur Pilot- und Demonstrationsanlagenreife zu bringen. Die Verbundprojekte müssen auf industrierelevante Fragestellungen ausgerichtet sein und die erforderlichen Kompetenzen der bio- und bioverfahrenstechnischen FuE, der regenerativen Stromerzeugung und Elektrolyse, der chemischen Katalyse, des Scale-up, der Systemintegration sowie der Nachhaltigkeitsbewertung zusammenführen.

Es wird empfohlen, den eigentlichen Verbundprojekten eine Phase vorzuschalten, in der potenzielle Fördernehmer für Verbundprojekte sowie potenziell relevante Unternehmen in Workshops anwendungsorientierte, industrierelevante FuE-Themen gemeinsam identifizieren, Anforderungen an die zu entwickelnden Anwendungen spezifizieren, Kooperationspotenziale ausloten und sich Konsortien finden können. Konkrete Projektanträge für Verbundprojekte könnten in etwa 6-monatigen Vorprojekten ausgearbeitet und dann im Wettbewerb für eine Förderung ausgewählt werden.

4. Informationsmodul. Vor Beginn des eigentlichen Entwicklungsschwerpunkts und über einen gewissen Zeitraum begleitend zu den (an)laufenden Verbundprojekten sollte ein Informationsmodul implementiert werden. Es beinhaltet mehrere Maßnahmen der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie und richtet diese inhaltlich auf die biotechnischen und bioinspirierten Verfahren zur CO₂-Nutzung aus. Ziel des Informationsmoduls ist es, die Optionen zur biologischen und bioinspirierten CO₂-Nutzung bei allen Stakeholder der relevanten Wertschöpfungsnetze bekannt zu machen, sie zur Teilnahme an Workshops im Rahmen des Themenfindungs- und Konsortienbildungsmoduls bzw. einer entsprechenden Fachinitiative (Maßnahme 26) bzw. zum Aufgreifen der Thematik in Branchendialogen (Maßnahme 24) zu motivieren. Entsprechende Informationen können zum einen auf ohnehin stattfindenden virtuellen oder physischen Veranstaltungen von Forschungseinrichtungen, Verbänden,

Netzwerken und Initiativen vermittelt werden, zum anderen durch Informationsmaterialien und -aktivitäten im Rahmen der Informationsinitiativen (Maßnahme 35).

5. Strategische Reflexion. In regelmäßigen Abständen sollte die Ausrichtung der FuE-Arbeiten und die Zusammensetzung der in den Entwicklungsschwerpunkt eingebundenen Kompetenzträger angesichts der sich ändernden politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, der sich entwickelnden konkurrierenden oder komplementären Technologien und auch nationalen und internationalen Entwicklungen überprüft und ggf. nachjustiert werden. Dies könnte z.B. in Form von Statusseminaren oder Zwischenbegutachtungen durchgeführt werden.

6. Außendarstellung und internationale Vernetzung. Der Entwicklungsschwerpunkt sollte sich regelmäßig im Rahmen des Internationalen Bioökonomiekongresses (Maßnahme 29) präsentieren.

7. Rechtliche Rahmenbedingungen. Es sollte regelmäßig geprüft werden, inwieweit (rechtliche) Rahmenbedingungen für das CO₂-Recycling hemmend oder fördernd sind. Deren Weiterentwicklung könnte gegebenenfalls mit dem Ansatz der „regulatorischen Innovationszone“ erfolgen (Maßnahme 3).

8. Ausbildung. Themen und Aktivitäten des Entwicklungsschwerpunkts zur biotechnischen und bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung sollten auch in die Ausbildung (Maßnahme 30) sowie in die Vermittlung von Wissen über und in die Stärkung des Bewusstseins für nachhaltige Bioökonomie einfließen (Maßnahme 27).

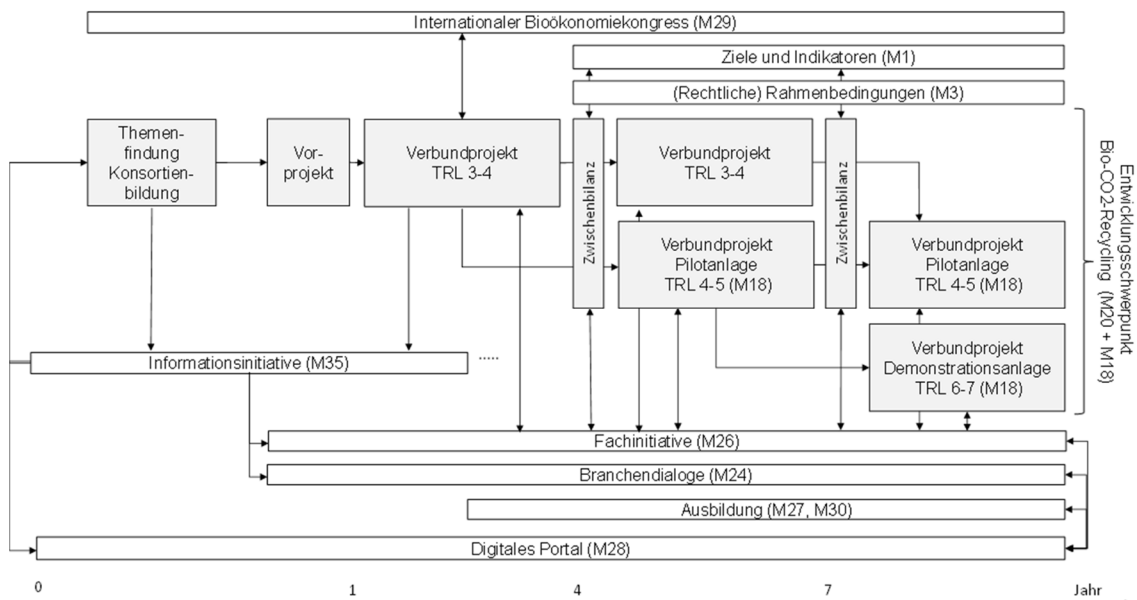


Abbildung: Roadmap für einen Entwicklungsschwerpunkt zum biologischen/bioinspirierten CO₂-Recycling in Baden-Württemberg und die Vernetzung mit weiteren Maßnahmen (M) der Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie