



Schlussbericht

Zwanzig20-Forum: INNOVATION IN CARBON Förderkennzeichen: 03ZZF51

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **03ZZF51** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt beim Autor.

Ausführende Stelle:	TU Bergakademie Freiberg Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC)
Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer
Autoren:	Dr. Felix Baitalow Dr. Heiner Gutte Dr. Roh Pin Lee Dr. Jörn Appelt Dipl.-Ing. Florian Keller Dipl.-Ing. Stephan Barth
Förderzeitraum:	01.10.2014 – 31.12.2016

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Freiberg, 14. Juli 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
4	Stand der Wissenschaft und Technik.....	6
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
6	Erzielte Ergebnisse und Verwendung der Zuwendung	8
	6.1 Entwicklung eines Organisations- und Managementkonzepts.....	9
	6.2 Durchführung einer Delphi-Studie	25
	6.3 Erstellung von Durchführbarkeitsstudien.....	43
	6.4 Konzepte für wettbewerbsfähige LCE-Technologien	54
	6.5 Strategien und Instrumente für den LCE-Technologietransfer.....	69
	6.6 Konzeption und Einrichtung von Nachwuchsforschergruppen.....	83
7	Positionen des zahlenmäßigen Nachweises und Notwendigkeit der geleisteten Arbeit ..	93
8	Notwendigkeit der geleisteten Arbeit.....	94
9	Verwertbarkeit der Ergebnisse	95
10	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens.....	96
11	Veröffentlichung der Ergebnisse	97
12	Literaturverzeichnis	99
13	Anhang	101

1 Aufgabenstellung

Die wesentliche Aufgabe des Vorhabens bestand darin, neue und effiziente Ansätze für die Etablierung nachhaltiger und wirtschaftlich tragbarer Strategien zur Minimierung der CO₂-Emissionen der rohstoffverarbeitenden Industrie (LCE – Low Carbon Economy) zu entwickeln und umzusetzen. Eine Schlüsselrolle kommt hier der Sektorenkopplung zwischen der Energiewirtschaft, Rohstoffverarbeitung und chemischen Industrie zu, mit der Gesamtzielsetzung geschlossene Kohlenstoffkreisläufe zu schaffen. Die genannten Sektoren sind in den existierenden Rohstoff-Wertschöpfungsketten eng miteinander verbunden. Bei den stattfindenden Technologieentwicklungen und großen Forschungsprogrammen waren aber bis zuletzt diese transsektoralen Verflechtungen nicht ausreichend berücksichtigt worden. Daher stellte sich das Initialkonsortium des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON die gesamtgesellschaftlich bedeutsame Aufgabe, die entscheidenden Akteure aus der Wirtschaft, der angewandten Forschung und der Zivilgesellschaft zusammenzubringen, um gemeinsam effiziente und dynamische Strukturen für die Entwicklung, Erprobung und Umsetzung wettbewerbsfähiger LCE-Technologien zur Schließung von Kohlenstoffkreisläufen zu schaffen. Fachlich sollten folgende Schwerpunkte in besonderem Maße adressiert werden:

- Steigerung der Energie- und Materialeffizienz (Ressourceneffizienz) energieintensiver Industriebranchen, wie Energiewirtschaft, Metallurgie, chemische Industrie
- Nachhaltiger Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energiequellen (Energiewende)
- Übergang von primären zu sekundären Rohstoffen, Schaffung geschlossener Kohlenstoff- und assoziierter Metallkreisläufe (Rohstoffwende)
- Übergang von dominierender energetischer hin zu einer stofflichen Nutzung kohlenstoffbasierter Rohstoffe (Ressourcenwende), unter innovativer Nutzung der Potenziale für die Einkopplung erneuerbaren Energien (Sektorkopplung)

Das Konsortium INNOVATION IN CARBON unter der Federführung der TU Bergakademie Freiberg sollte im Rahmen des vorliegenden Vorhabens die erforderlichen Innovationsstrategien für die Umsetzung der definierten Fragestellungen entwickeln. Dazu sollten in einem ersten Schritt die maßgeblichen Herausforderungen identifiziert und analysiert werden. Methodisch sollte dieser Findungsprozess durch eine Delphi-Studie unterstützt werden, in der die Konsortialpartner und weitere Fachexperten zu aktuellen Problemen und Entwicklungstrends auf dem Gebiet der LCE-Technologien befragt werden. Gleichzeitig sollten geeignete Maßnahmen zum Aufbau einer effizient agierenden Partnerstruktur und eines entsprechenden Organisationsmodells für das Konsortium ergriffen werden. Aufbauend auf dem eingeleiteten Strategiebildungsprozess sollten vielversprechende Ideen und Konzepte zu innovativen, nachhaltigen und wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Technologien, Produkte und Dienstleistungen identifiziert werden. Als ein wirksames Instrument für die Bewertung der Umsetzungschancen für potenzielle LCE-Technologien dient dabei die Erstellung von Durchführbarkeitsstudien. Für positiv bewertete Konzepte mit kurz- bis mittelfristigem Zeithorizont der Realisierung sollten themenbezogenen Projektkonsortien eingerichtet werden. Die aufgestellten Konsortien, die branchen- und fachübergreifend die erforderlichen Akteure aus der angewandten Forschung und der Wirtschaft zusammenführen, sollten die identifizierten Konzepte (hohe Umsetzungspriorität) weiterentwickeln und für den Eintritt in die zukunftsorientierten Leitmärkte vorbereiten. In diesen Prozess sollten auch kleine und mittelständige Unternehmen mit bislang unzureichenden Kapazitäten für eigenständige Forschungs- und Technologieinnovationen eingebunden werden.

Letztendlich bestand das übergeordnete Ziel des vorliegenden Vorhabens im Aufbau einer auf Dauer konzipierten Plattform für die Unterstützung der institutionellen Zusammenarbeit zwischen der angewandten Forschung und Wirtschaft bei der Entwicklung von Schlüsseltechnologien für die Low Carbon Economy. Als integraler Bestandteil dieser Zukunftsstrategie war die Konzeption und Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe „Energie-Stoff-Transformation“ vorgesehen. Sie soll überdurchschnittlich begabte Nachwuchsforscher auf die zukünftige wissenschaftliche oder wirtschaftliche Laufbahn mit Bezug zu potenziellen LCE-Technologien vorbereiten.

2 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Die besonders günstigen Voraussetzungen für die Durchführung des vorliegenden Vorhabens sind bereits auf das Initialkonsortium INNOVATION IN CARBON, das sich im Vorfeld der Ausarbeitung des Innovationskonzeptes für das BMBF-Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ zusammengefunden und aufgestellt hat, zurückzuführen. Die grundlegende Idee zur Formierung des Initialkonsortiums INNOVATION IN CARBON ging von der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF), und hier insbesondere vom Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) aus. Dabei stellt der gewählte Ansatz zur Etablierung von geschlossenen Kohlenstoff- und Metallkreisläufen eine logische Fortführung der langjährigen und erfolgreichen FuE-Arbeiten an der TU BAF dar. Das etablierte Forschungsumfeld auf dem Gebiet der Energie-Stoff-Transformationen kann repräsentativ durch folgende Großforschungsprojekte verdeutlicht werden:

- COORAMENT: CO₂-Reduktion, anwendungsbezogene Modellierung und Entwicklung neuartiger Prozessstufen
FKZ: 0327113B; Fördergeber BMWA; Projektlaufzeit 01/2006 – 12/2009
- COORVED: CO₂-Reduktion durch innovatives Vergaserdesign
FKZ: 0327865; Fördergeber BMWi; Projektlaufzeit 10/2009 – 12/2016
- DER: Deutsches Energierohstoffzentrum
Strukturaufklärung von Energierohstoffen, Entwicklung innovativer Hochtemperatur-Werkstoffe, Validierung und Verwertung neuer Vergasungsverfahren
FKZ: 03IS20221A; Fördergeber BMBF; Projektlaufzeit 01/2010 – 12/2014
- ZIK Virtuhcon: Zentrum für Innovationskompetenz Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse
Modellierung multiphasiger Stoffsysteme und Reaktionsströmungen in der stofflichen Veredlung von Energierohstoffen und der Metallurgie
FKZ: 03Z2FN11; Fördergeber BMBF; Projektlaufzeit 11/2009 – 01/2015
- ibi: Innovative Integration von Braunkohle in Mitteldeutschland
Neue CO₂-arme Technologien für die Prozessschritte von der Gewinnung und Aufbereitung bis zur stofflichen Nutzung von Braunkohle
FKZ: 03WKBZ06C; Fördergeber BMBF; Projektlaufzeit 04/2011 – 03/2014
- Kompetenzzentrum DBI:bergakademie
- Energierohstoff-Netzwerk ERN
- Führende internationale Konferenz auf dem Gebiet der stofflichen Nutzung von Energierohstoffen International Freiberg Conference on IGCC&XtL
- Industriennahe professionelle Weiterbildungsangebote Gasification Courses
- Gründernetzwerk SAXEED

Die treibenden Kräfte für die Aufstellung des Initialkonsortiums INNOVATION IN CARBON kamen seitens der Wirtschaft von der Energiewirtschaft (RWE, Vattenfall, MIBRAG), Metallurgie (ArcelorMittal, Nickelhütte Aue, Outotec), chemischen Industrie (BASF) und dem Anlagenbau (CAC, Linde, ThyssenKrupp). Eine Aufstellung der am Initialkonsortium beteiligten Akteure ist in der Anlage 1 gegeben. Von besonderem Vorteil hat sich der Umstand erwiesen, dass die Kernpartner des Konsortiums aus der angewandten Forschung und Wirtschaft, die ebenfalls die Strategieentwicklung im Rahmen des vorliegenden im Vorfeld stark miteinander vernetzt waren. Sie bringen weitere herausragende Expertise und Erfahrungen in das Konsortium ein. Damit bündelt INNOVATION IN CARBON ein breites Kompetenzzentrum zur Bearbeitung gemeinsamer Herausforderungen im Themenfeld von Energie, Chemie und Metallurgie.

Nach der Entscheidung der Expertenjury im Juli 2013 wurde allen beteiligten Akteuren des Initialkonsortiums INNOVATION IN CARBON angeboten, die in das Strategiepapier eingebrachten Ideen nun im Rahmen des neu eingerichteten Zwanzig20-Forums weiter zu entwi-

ckeln und zur Realisierung zu bringen. Daraus hat sich eine eingeschränkte Anzahl von Akteuren für das Zwanzig20-Forum ergeben, wobei die Teilnahme am Forum das Ergebnis von freier Entscheidung der Konsortialpartner war. Erfreulicherweise wurde das Zwanzig20-Forum während der Umsetzung des vorliegenden Vorhabens noch durch eine ganze Reihe weiterer, neu dazugekommener Partner aus der Wissenschaft und Wirtschaft ergänzt. Eine Auflistung der am Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON beteiligten Akteure ist ebenfalls in der Anlage 1 dargestellt.

Das Interesse der Forumsmitglieder an der Beteiligung am gemeinsamen Prozess der Strategieentwicklung für die Umsetzung von LCE-Technologien und ihr Vertrauen in das Forum beruht zu einem erheblichen Teil auf den anerkannten Stärken und Leistungen des Konsortialführers TU BAF. Speziell das Institut IEC ist dank der starken Vernetzung in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft der Ausgangspunkt für zahlreiche neue Projektideen und Verbundvorhaben. Die Anpassung der Interessen einzelner Forumsmitglieder erfolgt dabei stets projektbezogen, im Rahmen der einzelnen aufgestellten Projektkonsortien.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung und der Ablauf des Vorhabens sind in der Vorhabenbeschreibung für Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON beschrieben. Von der darin festgelegten Zeitplanung sind während der Projektlaufzeit keine wesentlichen Abweichungen von der inhaltlichen und zeitlichen Gestaltung der einzelnen Arbeitspakete erfolgt.

Der Arbeitsplan zur Strategieentwicklung des Zwanzig20-Forums schließt folgende Kernaktivitäten ein:

- Entwicklung eines Organisations- und Managementkonzepts
- Durchführung einer Delphi-Studie als Grundlage für die Strategieentwicklung
- Erstellung von Durchführbarkeitsstudien zur Bewertung der Umsetzungspotenziale für angestrebte LCE-Technologien
- Ableitung von Konzepten für wettbewerbsfähige LCE-Technologien
- Vorbereitung, Beantragung und wissenschaftliche Begleitung von Verbundvorhaben zur Entwicklung und Umsetzung von LCE-Technologien
- Entwicklung von Strategien und Instrumenten für den LCE-Technologietransfer
- Konzeption und Einrichtung einer Nachwuchsforschergruppe im Bereich „Energie-Stoff-Transformation“

Die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete erfolgte entsprechend der thematischen Zuordnung durch die Projektmitarbeiter des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON, in einem engen fachlichen Austausch mit den einbezogenen Forumspartnern aus der Wirtschaft und Wissenschaft.

Zur Koordination der Projektgruppe wurden mindestens monatlich Gruppenbesprechungen durchgeführt. Durch die räumliche Nähe am Standort IEC war es möglich, bei Bedarf auch darüber hinaus kurzfristige Absprachen zu treffen. Im Rahmen von weiteren Arbeitstreffen am IEC oder bei den Forumsmitgliedern wurde zudem das Expertenwissen der beteiligten Partner in die Strategiebildung einbezogen.

Mit organisatorischer Unterstützung durch die Projektgruppe INNOVATION IN CARBON wurden mehrere Fachworkshops durchgeführt, an denen alle interessierten Forumsmitglieder teilnehmen konnten. Außerdem wurden zweimal jährlich Treffen des ERN-Netzwerks abgehalten. Die bestehenden Synergien zwischen dem ERN-Netzwerk und dem Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON, sowohl in thematischer Sicht als auch in Bezug auf die eingebundenen Partner, konnten während der Projektlaufzeit stark ausgebaut werden.

4 Stand der Wissenschaft und Technik

Zurzeit werden fossile und biogene Kohlenstoffträger überwiegend energetisch genutzt, um Strom, Wärme und Flüssigkraftstoffe zu erzeugen. Dies birgt einerseits die Gefahr einer wachsenden Klimaänderung durch die anthropogen verursachte Zunahme an Treibhausgas-Emissionen (Klimaproblem). Andererseits stellt sich die Frage nach der Endlichkeit der Vorräte an fossilen Energieträgern und die Handlungsoptionen für das Nacherdöl-Zeitalter. Zurzeit werden jährlich ca. 0,5 % der Gesamtressourcen der Erde an festen, flüssigen und gasförmigen kohlenstoffhaltigen Energieträgern zu CO₂ verbrannt. Das führt auf Dauer zu einem Ressourcenproblem für die Energieversorgung, chemische Industrie und die damit verbundenen Wirtschaftsbranchen, wie z.B. die metallurgische Erzeugung von Eisen und NE-Metallen. Im Spannungsfeld des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit aber auch der wachsenden Weltbevölkerung und dem zunehmenden Wohlstand müssen zukunftsfähige Strategien entwickelt werden, um die kohlenstoffintensive Wirtschaft mittel- und langfristig in eine kohlenstoffarme Wirtschaft (LCE) zu transferieren bzw. geschlossene globale Kohlenstoff-Kreisläufe, z.B. auf Basis von biogenem oder atmosphärischem CO₂, zu etablieren.

Ein derzeit intensiv verfolgter Ansatz für eine kohlenstoffärmere Wirtschaft besteht in der Steigerung der Ressourceneffizienz. Dabei wird bei gleichbleibendem Rohstoffeinsatz entweder die Energieerzeugung gesteigert (Energiekonversionseffizienz) oder die Produktausbeute erhöht (Stoffeffizienz). Energie- und Stoffeffizienz sind die kostengünstigsten Hebel, um die Versorgung mit Energie und Rohstoffen abzusichern und den Einfluss auf die Klimaänderung zu mindern. Der Erhöhung der Effizienz mit konventionellen Ansätzen sind jedoch auch naturwissenschaftliche Grenzen gesetzt. Ein Beispiel dafür ist die Kraftwerkstechnik, die modernen Kohlekraftwerke in Deutschland befinden sich bereits auf einem sehr hohen Effizienzniveau.

Ein weiterer Ansatz, der insbesondere das erwähnte Klimaproblem adressiert und nur mittelbar das Ressourcenproblem bedient, beruht auf der großtechnischen Umsetzung von CCS-Technologien (Carbon Capture and Storage) zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ in geeigneten geologischen Formationen. Dieser auch von der deutschen Energiewirtschaft aktiv verfolgte Ansatz scheiterte aber an der fehlenden Akzeptanz in der Bevölkerung, an der unklaren Rechtslage hinsichtlich des langfristigen Umgangs mit dem gespeicherten CO₂ und nicht zuletzt auch an der Kostenproblematik. Neue Alternativen entstehen hier dank CCU-Technologien (Carbon Capture and Usage) zur Nutzung von CO₂ als kohlenstoffquelle für die chemische Industrie und Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Die Nutzung von CO₂, insbesondere in Verbindung mit Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse mit regenerativ erzeugtem Strom, rückt aktuell verstärkt in den Fokus der angewandten Forschung und Technologieentwicklung. Neben dem prozessbedingten CO₂, z.B. aus der Energiewirtschaft, Zementherstellung oder chemischen Industrie, bieten biogenes CO₂, z.B. aus Biogas- oder Bioethanolanlagen, und atmosphärisches CO₂, das direkt aus der Umgebungsluft abgetrennt wird, enorme Potenziale für die Etablierung von geschlossenen Kohlenstoff-Kreisläufen.

Von maßgeblicher Bedeutung für die Transformation der Wirtschaft zur Low Carbon Economy ist der Übergang von fossiler zur erneuerbaren Elektroenergieerzeugung im Rahmen der Energiewende. Der langfristig zu erwartende Überschuss an erneuerbaren Energien ermöglicht völlig neue technologische Ansätze für die LCE. Neben der Einkopplung von Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse in großtechnische Prozesse der Erzeugung von kohlenstoffhaltigen Grundstoffen für die chemische Industrie und der Herstellung synthetischer Kraftstoffe mit minimiertem CO₂-Footprint (Sektorkopplung zwischen den Sektoren Energie, Chemie und Verkehr) kommt der direkten Einkopplung von erneuerbarer Elektroenergie in endotherm ablaufende Stofftransformationsprozesse (unter Nutzung mikrowellen- oder plasmagestützter Reaktionstechnik sowie durch direkte Stromeinkopplung in chemische Prozesse) eine wichtige Rolle zu. Es besteht hoher Forschungsbedarf bei der Entwicklung effizienter und wirtschaftlich vorteilhafter Verfahren, um erneuerbare Energien in Zukunft in elektrochemische oder elektrothermische Prozesse einzukoppeln. Der sich daraus ergebende Weg zur LCE stellt eine der größten Herausforderungen für Wissenschaft und Wirtschaft im 21. Jahrhundert dar, bringt aber gleichzeitig enorme Zukunftspotenziale für die deutsche Wirtschaft mit sich.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit weiteren nationalen und internationalen Partnern aus der Wissenschaft und Wirtschaft, die nicht Mitglieder des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON waren, erfolgte themenbezogen im Rahmen einzelner Projektkonsortien, die sich zu den Themenschwerpunkten des Forums zusammengefunden haben. Die Abstimmung und Harmonisierung der Interessen der Akteure aus dem Zwanzig20-Forum und der externen Kooperationspartner konnte durch Konsortialvereinbarungen und entsprechende Regelungen zur den IP- und Verwertungsrechten sichergestellt werden. Diese Form der Zusammenarbeit hat sich als optimal erwiesen, um den Erfolg der initiierten Verbundvorhaben zu garantieren. Das Wissen und die Fachkompetenzen von externen Partnern wurde zudem über bestehende Netzwerke und bilaterale Kontakte der Forumsmitglieder für das Zwanzig20-Forum nutzbar gemacht. Erhebliche Synergien konnten durch die Einbeziehung der Außenstelle der Sächsischen Akademie der Wissenschaften am Institut IEC, die sich mit Technikfolgeabschätzungen beschäftigt, in den Strategiebildungsprozess des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON erschlossen werden.

Anbetracht der gesamtgesellschaftlichen Bedeutung der Fragestellungen, die durch das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON adressiert werden, wurden seitens des Forums umfangreiche Aktivitäten zum Kontaktaufbau in der Politik (Bundestag, Landtage, Ministerien) und zur Einbeziehung von Vertretern der Politik als feste Ansprechpartner für die Gestaltung der Strategiebildungsprozesse des Forums unternommen. Die Umsetzung von LCE-Technologien wird in einem erheblichen Maße durch die unsteten politischen Rahmenbedingungen beeinträchtigt, die ihrerseits Unsicherheiten für die Unternehmen in Bezug auf die erforderlichen Langzeit-Investition mit sich bringen. Die Politik und die zuständigen Fachministerien wurden für diese Themen sensibilisiert.

Obwohl aufgrund der begrenzten zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel keine professionellen PR- oder Marketingangebote in Anspruch genommen wurde, ist es dem Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON gelungen, während der Projektlaufzeit eine bemerkenswerte Medienaufmerksamkeit zu gewinnen. Unter anderem wurden vom MDR Themenbeiträge zur Entwicklung zukunftsorientierter Energietechnologien und zur Bedeutung der stofflichen Kohlenutzung in Deutschland produziert und gesendet.

6 Erzielte Ergebnisse und Verwendung der Zuwendung

Das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON (im Weiteren als IIC-Forum bezeichnet) ist mit der Mission angetreten, Strategien für die Entwicklung innovativer, wettbewerbsfähiger technologischer Ansätze für die Low Carbon Economy auszuarbeiten und geeignete, leistungsfähige Strukturen für die praktische Umsetzung der LCE-Technologien zu schaffen.

Die strategische Ausrichtung des IIC-Forums weist klare Alleinstellungsmerkmale auf. Sie fokussieren sich auf die Entwicklung und praktische Umsetzung innovativer technischer Lösungen für dringende Problemstellungen der Gegenwart:

- **Energiewende:** Einkopplung von erneuerbarem Strom in die kohlenstoffintensiven Sektoren Chemie, Wärme und Verkehr/Mobilität (Sektorkopplung)
- **Rohstoffwende:** stoffliche Nutzung von erneuerbaren kohlenstoffhaltigen Rohstoffen (z.B. biogene Rohstoffe, Kunststoffabfälle, CO₂), Schließung von Kohlenstoffkreisläufen
- **Effizienzsteigerung energieintensiver Prozesse** in der Metallurgie, chemischen Industrie, Kraftstofferzeugung und der Abfallverwertung

Es ist besonders hervorzuheben, das die gesamtgesellschaftliche Bedeutung der Themensetzung des Forums an Aktualität sogar noch zugenommen hat, in Relation zum Initialkonzept INNOVATION IN CARBON. Die neusten Entwicklungen (Forcierung der Energiewende, Paradigmenwechsel bei der Versorgung der verarbeitenden Industrie mit kohlenstoffhaltigen Rohstoffen, Entwicklung von Power-to-X Konzepten) haben die visionäre Strahlkraft der Strategie des IIC-Initialkonzepts eindrucksvoll bewiesen. Der Ansatz INNOVATION IN CARBON war mit seinen Ideen evtl. seiner Zeit etwas zu stark voraus. Da das IIC-Forum eine Vorreiterstellung bei Fragen der Energie- und Rohstoffwende einnimmt, hat es aber beste Positionen bezüglich des Angebots an technischen Lösungen für LCE-Technologien eingenommen.

Die Entwicklung und praktische Umsetzung der Strategie des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON erfolgte überwiegend projektbezogen. Einzelne, besonders vielversprechende Technologieansätze und Themenstellungen des Initialkonzepts wurden in speziell eingerichteten Projektkonsortien von der ursprünglichen Idee bis zur praktischen Realisierung entwickelt. Als Ergebnis wurden zahlreiche Projektanträge für Verbundvorhaben unter Beteiligung von Forumsmitgliedern aus der Wissenschaft und Wirtschaft ausgearbeitet mit dem Ziel, eine Projektförderung außerhalb der Förderung im Zwanzig20-Programm zu erreichen. Der Erfolg dieser Vorgehensweise bei der Strategieentwicklung des Forums verdeutlicht sich in der ausgesprochen hohen Anzahl von Projektideen, die bis zur Antragstellung in verschiedenen Förderprogrammen (Land/Bund/EU) entwickelt wurde bzw. für die eine Projektförderung aus öffentlichen Fördermitteln oder im Rahmen von rein industriefinanzierten Projekten erreicht wurde. Auf diese Erfolgsgeschichte des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON wird detaillierter im Abs. 6.4 eingegangen.

Die Einbindung der Forumsmitglieder in die Strategieentwicklung des IIC-Forums erfolgte themen- und projektbezogen. Als Werkzeug für die Beteiligung der Partner diente die enge Zusammenarbeit bei der Erstellung von s.g. Projektsteckbriefen. Rückblickend können enorme Vorteile der gewählten Vorgehensweise festgestellt werden, denn die aktuellen Probleme und dringenden Fragestellungen der Wirtschaft konnten dadurch bestmöglichweise berücksichtigt werden. Die starke finanzielle Beteiligung der IIC-Forumsmitglieder aus der Wirtschaft an den gemeinsam entwickelten und zur Antragstellung gebrachten Verbundvorhaben bestätigte den Erfolg dieser Strategie.

Die Darstellung der vom IIC-Forum erzielten Ergebnisse wurde in sechs thematisch zusammenhängende Schwerpunkte aufgeteilt. Sie werden in den Abs. 6.1 bis 6.6 geschildert. Ein solches Vorgehen fasst inhaltlich aufeinander aufbauende Themen sinnvoll zusammen und erleichtert damit das Verständnis des Berichts. Die Themenschwerpunkte schließen mehrere im ursprünglichen Projektvorhaben definierte Arbeitspakete ein.

6.1 Entwicklung eines Organisations- und Managementkonzepts

In das IIC-Forum sind eine Vielzahl von Forummitgliedern aus der Wissenschaft und Wirtschaft eingebunden. Zusätzliche Komplexität ergibt sich aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Technologieansätze und Teilprojekte sowie durch die überwiegende Interdisziplinarität der Themenbearbeitung. Diese Ausgangslage macht es notwendig, ein gemeinsames Konzept für die Organisationsstruktur und das Projektmanagement des IIC-Forums zu schaffen. Dazu wurde entsprechend der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens eine Recherche zu geeigneten Organisationsformen für das IIC-Forum durchgeführt (AP01) und auf dieser Basis ein funktionsfähiges Organisationsmodell entwickelt (AP02). Außerdem wurden ein entsprechendes Steuerungsmodell bzw. Projektmanagementmodell für das gesamte IIC-Forum (AP05) und eine effiziente Patentstrategie (AP06) aufgestellt. Die Arbeiten zum vorliegenden Themenschwerpunkt wurden durch die Einrichtung von vier Projektclustern (AP03) und die Ableitung der Haupt- und Teilziele des IIC-Forums (AP04) ergänzt. Die Darstellung der wesentlichen Ergebnisse aus den durchgeführten Projektaktivitäten ist in den nachfolgenden Abs. 6.1.1 bis 6.1.5 zusammengefasst. Die konzipierte Organisations- und Managementstruktur wurde, soweit erforderlich und zielführend, für das IIC-Forum etabliert.

6.1.1 Organisationsstruktur

Im Kick-off-Meeting am 18. Oktober 2014 in Freiberg wurde von den anwesenden Forummitgliedern beschlossen, ein Organisations- und Managementkonzept für das IIC-Forum zu erarbeiten. Als Ergebnis der daraufhin durchgeführten Arbeiten wurde ein Konzeptpapier mit den Statuten des Forums INNOVATION IN CARBON erarbeitet. Die Aufgaben- und Kompetenzverteilung ist schematisch in der Abb. 1 dargestellt.

Leitung

Das IIC-Forum wird von einem **Lenkungskreis** angeführt. Der Lenkungskreis setzt sich aus ausgewählten Forummitgliedern und Vertretern der wissenschaftlichen Partner zusammen. Die Projektkoordination präsentiert den Lenkungskreismitgliedern regelmäßig den Projektstatus im Rahmen von Lenkungskreissitzungen. In einer Lenkungskreissitzung wird über den aktuellen Status, Risiken, Maßnahmen und nächste Schritte beraten. Dem Lenkungskreis obliegt die Kontrolle der Projektkoordination. Der Lenkungskreis übernimmt des Weiteren Aufgaben der strategischen Leitung und Koordination des IIC-Forums (z. B. die Einbindung weiterer Konsortialpartner in das Forum, da der Partnerfindungsprozesse laut Förderrichtlinie offen zu gestalten ist) und repräsentiert es offiziell nach außen. Er wird dabei in administrativer Hinsicht von der Projektkoordination unterstützt.

Für die **Projektkoordination** war zunächst Herr Dr. Heiner Gutte vom Forum INNOVATION IN CARBON bestätigt worden. Mit seinem Weggang am 31.12.2015 wurden die Aufgaben der Projektkoordination auf Herrn Dr. Felix Baitalow übertragen. Die Projektkoordination nimmt Aufgaben der operativen Leitung und Koordination des IIC-Forums sowie aller Teilprojekte und Arbeitspakete im Interesse einer effektiven Gesamtprojektsteuerung wahr. Sie berichtet regelmäßig über den Projektstatus und informiert ggf. Probleme mit den Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen und den Teammitgliedern an den Lenkungskreis.

Andererseits kontrolliert der Projektkoordinator wiederum die Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen, die ihrerseits im Rahmen von regelmäßigen **Projektstatussitzen** und internen **Jour fixes** den Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketstatus berichten und Probleme im laufenden Projekt offenlegen. In einer Projektstatussitze wird – ähnlich, aber operativer als in der Lenkungskreissitzung – über den aktuellen Status, Risiken, Maßnahmen und nächste Schritte im Rahmen eines Statusberichtes beraten.

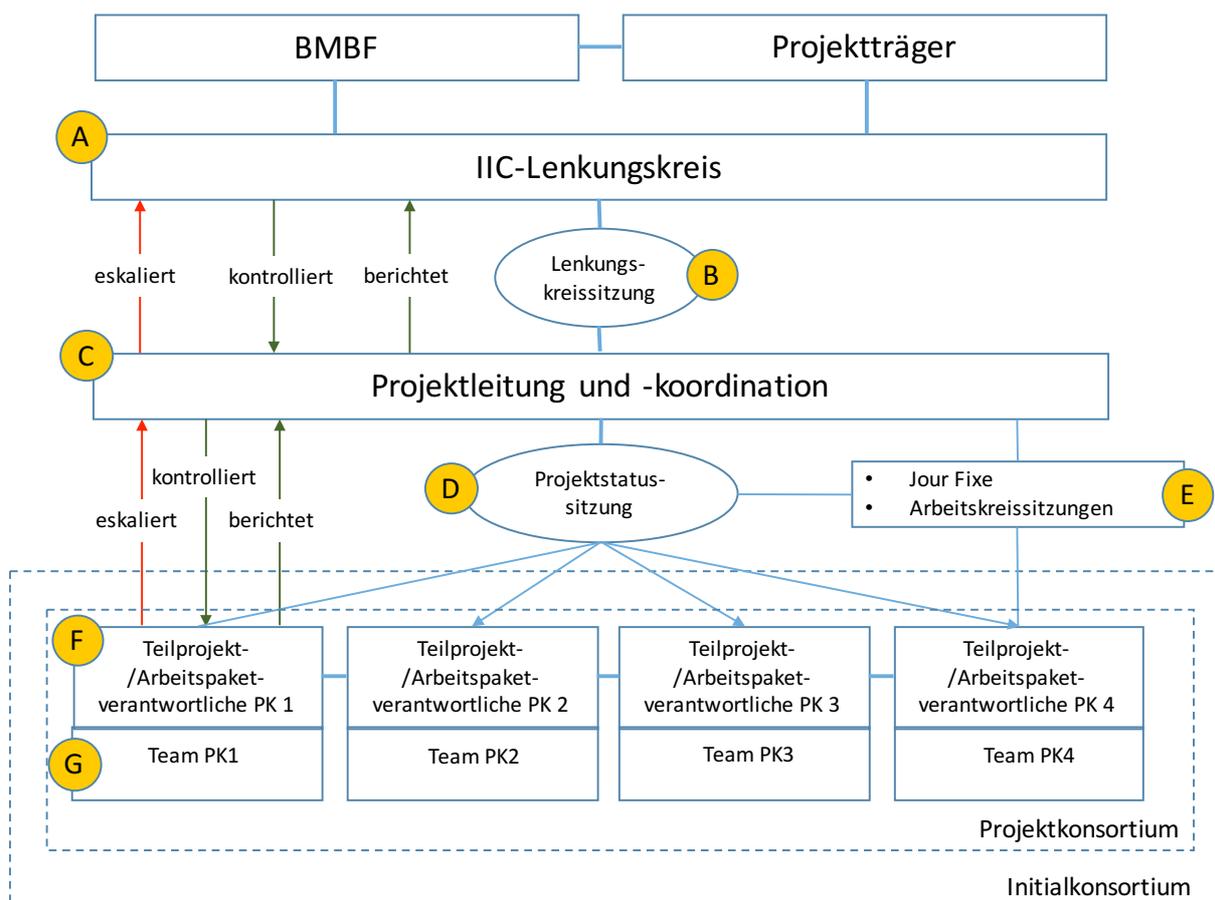


Abbildung 1: Organisationsstruktur des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON

Das vorliegende Vorhaben beinhaltet eine Reihe vordefinierter und mit dem Projektträger abgestimmter Teilprojekte oder Arbeitspakete, die von einem **Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen** koordiniert werden. Während ein Teilprojekt die Bearbeitung einer umfassenderen Fragestellung einschließt (Entwicklung einer Strategie-Roadmap, Durchführbarkeitsstudien zur Vorbereitung von LCE-Technologien, Konzeption für Nachwuchsforschergruppe zur „Energie-Stoff-Transformation“), ist ein Arbeitspaket mehr im Sinne der Bearbeitung eines spezifischen Problems im Rahmen der Strategiebildungsaktivitäten zu verstehen. Während die Verantwortung eines Teilprojekts aufgrund der umfassenden Betreuungsnotwendigkeit von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter im Rahmen des Vorhabens übernommen wird, müssen Arbeitspakete z. B. aufgrund der Unternehmensspezifität der Fragestellung gemeinsam mit den Forumsmitgliedern bearbeitet werden. Dazu strukturieren sich die Forumsmitglieder in themenspezifischen Projektconsortien. Die Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen sind in regelmäßig stattfindenden internen Jour fixes und in Projektstatus-sitzungen involviert und müssen im Rahmen dessen an die Projektkoordination berichten. Des Weiteren müssen sie Probleme an die Projektkoordination weiterleiten, sofern die Notwendigkeit dazu gegeben ist.

Gremienstruktur

Für das IIC-Forum wurden folgende Gremien eingerichtet personell besetzt:

Lenkungskreis

- Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, TUBAF – IEC (Vorsitzender und Sprecher)
- Dr.-Ing. Lutz Schiffer, SAW (Stellvertretender Sprecher, Vertreter der wissenschaftlichen Einrichtungen)
- Dr. Markus Neuroth, RWE (Vertreter der Wirtschaft, Großunternehmen)
- Dr.-Ing. Dirk Thamm, ROMONTA (Vertreter der Wirtschaft, KMU)

Projektkoordination

- Dr.-Ing. Heiner Gutte, TUBAF (bis 31.12.2015)
- Dr. Felix Baitalow, TUBAF (ab 01.01.2016)

Teilprojekt- und Arbeitspaketverantwortliche

- Dr. Roh Pin Lee, TUBAF
- Dr. Felix Baitalow, TUBAF
- Dr. Jörn Appelt, TUBAF
- DI. Stephan Barth, TUBAF
- DI Florian Keller, TUBAF

Funktionsbeschreibungen

Vorsitzender und Sprecher des Lenkungskreises

Kurzbeschreibung:

Der Vorsitzende und Sprecher des Lenkungskreises leitet den Lenkungskreis und repräsentiert ihn sowie das IIC-Forum nach außen.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten:

- Leitung des Lenkungskreises sowie der Lenkungskreissitzungen,
- Repräsentation nach außen (z. B. gegenüber dem BMBF),
- Wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse.

Schnittstellen:

- Lenkungskreis,
- Projektkoordinatoren,
- Geschäftsstellenleiter,
- Öffentlichkeit (z. B. BMBF)

Lenkungskreismitglied

Kurzbeschreibung:

Ein Lenkungskreismitglied steuert und kontrolliert im Rahmen des Lenkungskreises das IIC-Forum und sichert die Qualität der Projektarbeit, die Einhaltung der geplanten Ressourcen und die fristgemäße Lieferung.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten:

- Steuerung und Kontrolle des Projektes
- Entgegennahme des Projektstatus von der Projektkoordination
- Möglichkeit jederzeit auf einzelne Projektmitarbeiter zu Informationszwecken zuzugehen
- Freigabe der externen Kommunikation in bestimmten Fällen
- Genereller Wegbereiter für das Projekt – „politische“ Widerstände sind so weit möglich auszuräumen und die notwendige Ressourcenausstattung ist sicherzustellen

Schnittstellen:

- (stellvertretende) Vorsitzende und Sprecher des Lenkungskreises
- Projektkoordination

Projektkoordinator

Kurzbeschreibung:

Der Projektkoordinator ist für die operative Planung, Durchführung und Steuerung des Projektes verantwortlich. Er wird dabei je nach Projektgröße, -umfang und -komplexität von Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen unterstützt, die jeweils ein eigenständiges Themengebiet (abgrenzbarer Forschungsbereich bzw. abgrenzbares Arbeitspaket) betreuen und ihrerseits an den Projektkoordinator berichten.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten:

- Projektplanung in Bezug auf Zeit, Ressourcen und Kosten
- Aufstellen des Vorgehensmodells
- Identifikation der Anforderungen
- Operative Führung des Projektteams (z. B. Einsatzplanung)
- Sicherstellung der Kommunikation über die Projektbelange mit den Anspruchsgruppen
- Planung und Durchführung von Lenkungskreis- und Projektstatusitzungen
- Sicherstellung der Projektberichterstattung - v.a. an den Lenkungskreis
- Qualitätssicherung und Controlling
- Abbau von Widerständen
- Sicherstellung der Projektdokumentation
- Mitarbeiterführung (Entwicklungsgespräche, Aus- und Weiterbildung, Stärkung des Teams/ der Motivation, Konfliktlösung)

Schnittstellen:

- Lenkungskreismitglieder
- Teilprojektverantwortlicher
- Arbeitspaketverantwortlicher
- Teammitglieder

Teilprojekt- und Arbeitspaketverantwortlicher

Kurzbeschreibung:

Der Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortliche ist in Absprache mit dem Projektkoordinator für die operative Planung, Durchführung und Steuerung eines Teilprojekts bzw. Arbeitspakets verantwortlich. Er berichtet regelmäßig an den Projektkoordinator.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten:

- Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketplanung in Bezug auf Zeit, Ressourcen und Kosten in Absprache mit dem Projektkoordinator
- Aufstellen des Vorgehensmodells
- Identifikation der Anforderungen
- Operative Führung des Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketteams (z.B. Einsatzplanung)
- Planung und Durchführung von Arbeitskreisen und Workshops
- Sicherstellung der Projektberichterstattung an den Projektkoordinator
- Qualitätssicherung und Controlling innerhalb des Teilprojekts bzw. Arbeitspakets
- Sicherstellung der Projektdokumentation

Schnittstellen:

- Projektkoordinator
- andere Teilprojektverantwortliche
- andere Arbeitspaketverantwortliche
- Teammitglieder

Teammitglieder

Kurzbeschreibung:

Das Teammitglied wird in die operative Durchführung der Teilprojekte und Arbeitspakete und damit in die Durchführung des Gesamtprojekts eingebunden. Teammitglieder können als Teilprojekt- oder Arbeitspaketverantwortliche fungieren.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten:

- Umsetzen des Vorgehensmodells bei der Bearbeitung der Teilprojekte und Arbeitspakete sowie des Gesamtprojekts
- Mithilfe bei der Durchführung von Arbeitskreisen und Workshops
- Durchführbarkeitsstudien und Befragungen der Forumsmitglieder
- Dokumentation der Ergebnisse

Schnittstellen:

- Projektkoordinator
- Teilprojektverantwortliche
- Arbeitspaketverantwortliche

Erweitertes Organisationsmodell

Für den Fall, dass es sich herausstellen würde, dass das dargestellte Organisationsmodell in dieser Form nicht mehr ausreicht, weil z. B. aufgrund der Offenheit im Partnerfindungsprozess zahlreiche neue Partner dazukommen oder das neue Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten die Bildung zusätzlicher Organisationsstrukturen erforderlich machen, wird das vorgeschlagene Organisationsmodell erweitert. Die neue Aufgaben- und Kompetenzverteilung ist in der Abb. 2 dargestellt.

Präsidium: Das Präsidium besteht aus dem Vorstand und den Vorsitzenden der Projektkonsortien. Es verfügt über ein Vorschlags-, Empfehlungs- und Anhörungsrecht und beteiligt sich an der Entscheidungsfindung des Vorstands.

a) *Vorstand* (Analoges Funktionsspektrum zum Lenkungskreis bzw. Lenkungsgremium): Hier finden sich Vertreter aller Drittmittelgeber der Forschungskooperation, die als Auftraggeber des Vorhabens auftreten. Das Komitee übernimmt Aufgaben der strategischen Leitung und der fachlichen Koordination des Projekts und vertritt es offiziell nach außen. Zu seinen Aufgaben und Verantwortlichkeiten gehören:

- Steuerung und Kontrolle des IIC-Forums
- Freigabe der externen Kommunikation und Verträge an oder Kooperationen mit Dritten in bestimmten Fällen
- Oberste Eskalationsinstanz für Konflikte bzw. Probleme im IIC-Forums
- Entscheidung über die strategische Weiterentwicklung des Konsortiums, Anschlussfinanzierungsalternativen und Entscheidung über eine Neuaufnahme weiterer Partner in das IIC-Forum
- Genereller Wegbereiter für die Kooperation, um beispielsweise politische Widerstände gegen das Untersuchungsobjekt bzw. den Fokus der Kooperation soweit wie möglich zu adressieren und die notwendige Ressourcenausstattung sicherzustellen

b) *Verbandsprecher:* Der Verbandsprecher repräsentiert das IIC-Forum nach außen.

Wissenschaftlicher Beirat: Der Wissenschaftliche Beirat besteht aus internationalen unabhängigen Experten und Spezialisten im Forschungsfeld. Als organisationsexternes Beratungsorgan ist er u.a. mit folgenden Aufgaben betraut:

- Grundsätzliche fachlich-inhaltliche Beratung des Vorstands
- Vorschläge bezüglich der Forschungs- und Personalpolitik
- Stellungnahme zu strategischen Entwicklungen innerhalb der Projektkonsortien z. B. Gründungen und Schließungen
- Mitwirkung bei der Berufung des IIC-Vorstands

IIC Konsortium Mitgliederversammlung: Mitglieder der IIC (Drittmittelpartner und Partner mit Unterstützung per Letter of Intent). Neben dem Beschluss von Satzungsänderungen gehört auch die Wahl von dem Vorstand zu ihren Aufgaben.

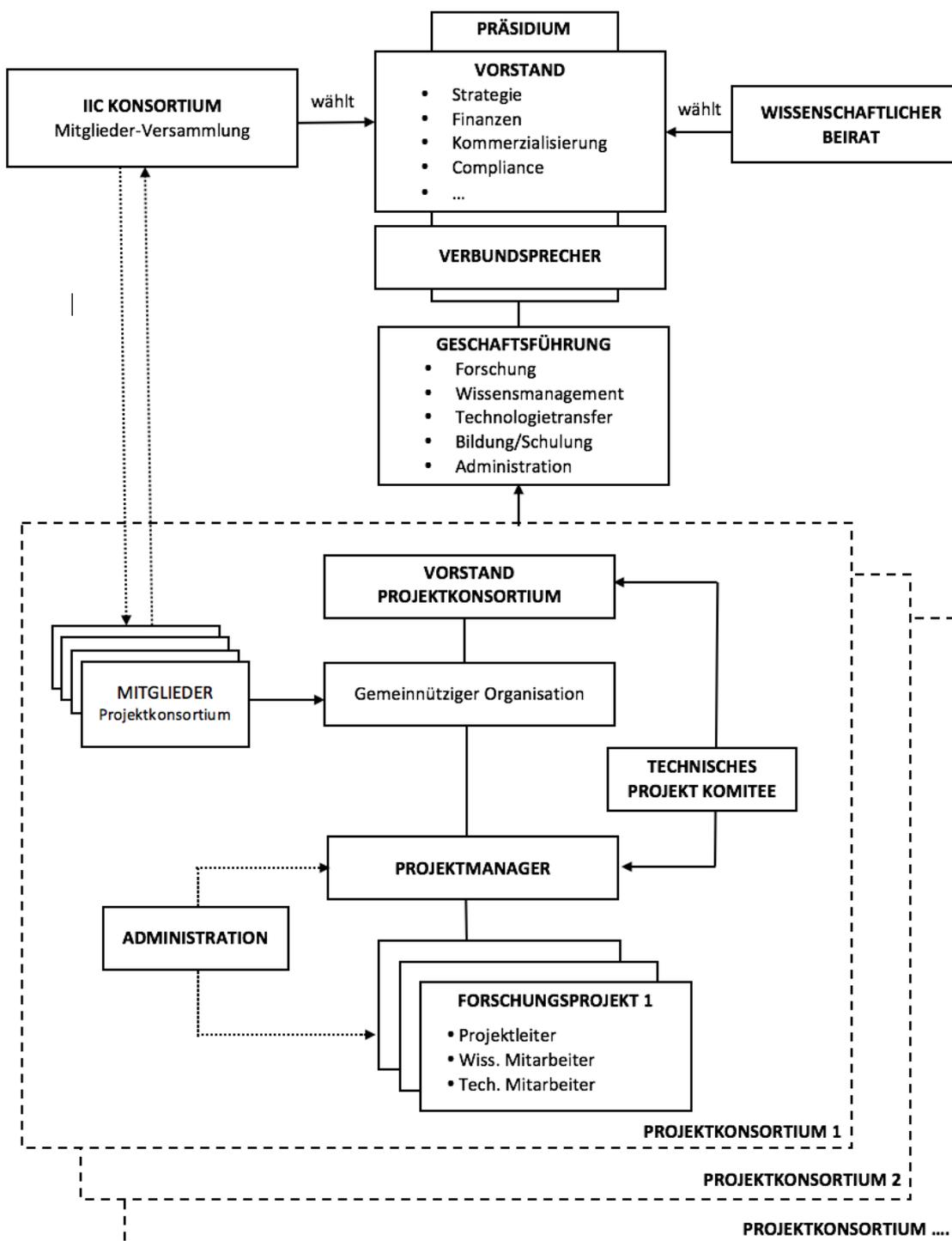


Abbildung 2: Erweiterte Organisationsstruktur des IIC-Forums

Geschäftsführung: Die Geschäftsführung unterstützt den Vorstand darin, das IIC-Forum operativ zu steuern. Sie übernimmt die operative Leitung und Koordination aller Projektverbände im Rahmen des Vorhabens im Interesse einer effektiven Gesamtsteuerung. Sie verbindet Vorstand und Projektverbände und berichtet regelmäßig über den Projektstatus und deeskaliert ggf. Probleme mit/zwischen ihnen. Die Aufgabenbereiche der Geschäftsführung beinhalten u. a.:

- Identifikation der An- und Herausforderungen
- Projektplanung in Bezug auf Ressourcen, Zeit und Kosten
- Aufstellen des Vorgehensmodells und Planung der Geschäftsprozesse
- Operative Führung der Projektverbände innerhalb des IIC Konsortiums
- Mitarbeiterführung z. B. Entwicklungsgespräche

- Planung der öffentlichkeitswirksamen Darstellung des Forums
- Planung der Maßnahmen zur Vermarktung von Forschungsergebnissen die sich gezielt an verschiedene Anspruchsgruppen wenden

Forum: Die Mitglieder des Initialkonsortiums mit ähnlichen inhaltlichen Interessen bilden das IIC-Forum. Die Clusterung erfolgt weitestgehend nach Bedarf. Geeignet sind Cluster nach den Leitprojekten des Initialkonzepts oder nach Fachbereichen wie Energie, Chemie, Metallurgie und Naturstoffverfahren. Das Forum ist offen für alle Konsortialmitglieder aber auch offen gegenüber der Akquise neuer Partner, da der Partnergewinnungsprozess laut Förderrichtlinie offen gestaltet wird.

Gemeinnützige Organisation: Die Mitglieder des Forums bilden eine Gemeinnützige Organisation, in der die Partner Ressourcen, die in das Projektkonsortium eingebracht werden sollen z. B. monetäre oder nicht-monetäre Ressourcen z. B. Drittmittel, IP-Schutzrechte und Lizenzen usw.

Vorstand des Forums: Festlegung der Schwerpunkte der Aktivitäten des Forums, Definition von Forschungsaktivitäten, Auswahl der Vorhaben, in die zukünftig investiert werden soll.

Technisches Projektkomitee: Experten aus dem IIC-Forum unterstützen den Vorstand des Forums und den Projektmanager in Bezug auf die strategische und inhaltlichen Ausrichtung der Forschungsprojekte.

Projektmanager: Der Projektmanager unterstützt den Vorstand des Forums um den Projektverbund operativ zu managen. Er übernimmt die operative Leitung und Koordination aller Teilprojekte und Arbeitspakete im Rahmen des Verbunds. Er ist der Verbindungsmann zwischen Verbundvorstand und Projektmitarbeitern und berichtet regelmäßig über den Projektstatus und deeskaliert ggf. Probleme mit den Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichen und den Teammitgliedern. Andererseits kontrolliert er die Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketverantwortlichkeiten um sicherzustellen, dass der Projektverbund die gesetzten Ziele und vereinbarten Meilensteine erreicht.

Administration: Hierbei handelt es sich um eine Art „Geschäftsstelle“, die sowohl den Verbundvorstand als auch den Projektmanager in administrativer Hinsicht unterstützt. Zu Aufgaben und Verantwortlichkeit gehören u.a.:

- Kaufmännische Abwicklung mit privatwirtschaftlichem Partner
- Administration z. B. Abwicklung von Geschäftskorrespondenz, Kontaktverwaltung
- Unterstützung bei Termin- und Dienstreiseplanung z. B. Dienstreiseanträge
- Buchführung
- Unterstützung der Aktivitäten im Bereich Vermarktung und Öffentlichkeitsarbeit

Teilprojekt- oder Arbeitspaketverantwortliche übernehmen als Projektleiter die Rolle als Vermittler zwischen den Wissenschaftlern in ihrem Team und dem Projektmanager. Sie sind üblicherweise an Projektstatusitzungen beteiligt und müssen im Rahmen dieser der Projektkoordination Bericht erstatten. Des Weiteren müssen sie Probleme in der Projektkoordination lösen, sobald sie auftreten und Maßnahmen zur Gegensteuerung einleiten. Ihre Aufgabe und Verantwortlichkeit beinhaltet u.a.:

- Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketplanung in Bezug auf Zeit, Ressourcen und Kosten in Absprache mit dem Forschungsmanager
- Operative Führung des Teilprojekt- bzw. Arbeitspaketteams z. B. Einsatzplanung und Überprüfung des Erreichens von Meilensteinen
- Erarbeitung möglicher Vorgehensweisen zu Teilprojektsteuerung
- Sicherstellung der Projektberichterstattung an den Forschungsmanager
- Qualitätssicherung und Controlling innerhalb des Teilprojekts bzw. Arbeitspakets
- Sicherstellung der Projektdokumentation im Teilprojekt bzw. Arbeitspaket

Teammitglieder sind die Mitarbeiter im jeweiligen Teilprojekt bzw. Arbeitspaket. Teammitglieder werden in die operative Durchführung der Teilprojekte und Arbeitspakete und damit die Erreichung der Zielsetzungen der Forschungs Kooperation eingebunden. Sie können als Teilprojekt- oder Arbeitspaketverantwortliche fungieren. Aufgaben und Verantwortlichkeiten beinhalten u.a.:

- Forschungsarbeit z.B. Durchführung von Untersuchungen und Befragungen
- Umsetzung des Vorgehensmodells bei der Bearbeitung der Teilprojekte und Ar-

- beitspakete um die Zielsetzungen und Meilensteine zu erreichen
- Dokumentation der Forschungsergebnisse
- Teilnahme und Unterstützung bei der Organisation und Durchführung von Teammeetings und Vermarktungsaktivitäten

6.1.2 Projektmanagementmodell

Für das IIC-Forum wurde ein Projektmanagementmodell. Die einzelnen Elemente dieses Modells werden in diesem Abschnitt erläutert.

Strategische Weiterentwicklung der Ideen aus dem Initialkonzept

Prozessbeschreibung:

- Erster Anlaufpunkt bei neuen Teilprojekt-/Arbeitspaketideen eines Forumsmitglieds (z. B. wissenschaftlicher oder wirtschaftliche Konsortialpartner) ist der Projektkoordinator
- Der Projektkoordinator dokumentiert die Teilprojekt-/Arbeitspaketidee (inkl. der Meilensteine) zusammen mit dem Konsortialpartner [1-Dokumentation]
- Der Projektkoordinator stellt den Teilprojekt-/Arbeitspaketantrag im Lenkungskreis vor. [2-Vorstellung im Lenkungskreis]
- Die finale Entscheidung über die Bewilligung des Teilprojekt-/Arbeitspaketantrags erfolgt durch den Lenkungskreis
- Der Projektkoordinator hat dafür Sorge zu tragen, dass ein bewilligter Teilprojekt-/Arbeitspaketantrag im Projekt kommuniziert wird (z. B. im Rahmen einer Projektstausitzung) und dass das bewilligte Teilprojekt/Arbeitspaket (inkl. der Meilensteine) in die Projektplanung mit aufgenommen wird. [3-Kommunikation]
- Der Projektkoordinator hat in Absprache mit dem Ansprechpartner ein zur Bearbeitung geeignetes Team zusammenzustellen. [4-Zusammenstellung Team]

Nutzen:

- Verhinderung unkontrollierter Änderungen und Erweiterungen des Umfangs eines Projekts, Teilprojekts oder Arbeitspakets
- Transparenz bei der Beantragung neuer Projekte
- Eindeutige Beschreibung der Arbeitsschritte
- Klare Definition der Abstimmungszyklen
- Klare Abgrenzung von Funktionen und Verantwortlichkeiten für die beteiligten Personen

Beteiligte Funktionen und Verantwortlichkeiten:

Prozessschritt Funktion	1-Dokumentation	2-Vorstellung im Lenkungskreis	3-Kommunikation	4-Zusammenstellung Team
Antragsteller	D	I	I	B
Projektkoordinator	B/D	D	D	D
Teammitglieder	(I)	(I)	I	I
Teilprojekt-/ Arbeitspaketverantwortliche	(I)	(I)	I	I
Lenkungskreis	(I)	E	(I)	I

Legende: D = Durchführung B = Beratung (I) = Im Fall einer Anfrage wird informiert
 E = Entscheidung I = Information

Projektsteuerung

Prozessbeschreibung:

- Nach Projektstart ist der laufende Fortschritt des Projekts festzustellen, um rechtzeitig Abweichungen (Budget, Zeit, Ressourcen) von der Projektplanung zu erkennen und potenzielle Steuerungsmaßnahmen einleiten zu können.
- Der Projektkoordinator ist dafür verantwortlich, dass regelmäßig Projektsteckbriefe von den zuständigen Teilprojekt-/Arbeitspaketverantwortlichen erstellt und an die Geschäftsstelle zur Dokumentation und Ablage weitergeleitet werden. [1-Erstellung und Abgabe]
- Der Projektkoordinator ist dafür verantwortlich, die Inhalte der Projektsteckbriefe sowie weitere Informationen zum aktuellen Status, Risiken, Maßnahmen und potenziellen nächsten Schritten im Rahmen von Projektstatusberichten zu erfassen und in Lenkungskreissitzungen über den Projektfortschritt zu berichten. [2-Vorstellung im Lenkungskreis]
- Darüber hinaus hat er die in den Lenkungskreissitzungen beschlossenen Entscheidungen gegenüber allen am Projekt Beteiligten transparent zu machen und zu kommunizieren (v.a. im Rahmen von Jour fixes und Projektstatusitzungen). [3-Kommunikation]
- Der Projektkoordinator hat dafür Sorge zu tragen, dass alle in der Lenkungskreissitzung beschlossenen Maßnahmen im Rahmen der Planung des Gesamtprojekts und der Teilprojekte sowie Arbeitspakete berücksichtigt werden. [4-Umsetzung]

Nutzen:

- Dokumentation und Kommunikation des Projektfortschritts
- Schaffung von Transparenz über den Projektfortschritt
- Herstellung frühzeitiger Steuerungsmöglichkeiten bei Planabweichungen

Beteiligte Funktionen und Verantwortlichkeiten:

Prozessschritt Funktion	1-Dokumentation	2-Vorstellung im Lenkungskreis	3-Kommunikation	4-Umsetzung
Projektkoordinator	D	D	D	D
Teilprojekt-/ Arbeitspaketverantwortliche	D	(I)	D	D
Lenkungskreis	(I)	E	(I)	(I)
Teammitglieder	(I)	(I)	I	D

Legende: D = Durchführung B = Beratung (I) = Im Fall einer Anfrage wird informiert
 E = Entscheidung I = Information

Test und Abnahme

Prozessbeschreibung:

- Um die Qualität der im Projekt erstellten Projektergebnisse, die direkt an eingebundene Praxispartner „geliefert“ werden, sicherzustellen, müssen Qualitätskriterien (u.a. Definition abnahmepflichtiger Dokumente und Lieferobjekte, Meilensteine zur Qualitätssicherung) definiert werden. [1-Definition]
- Darüber hinaus muss der Test geplant werden (z.B. Sicherstellung zeitliche Testplanung für einzelne Meilensteine, Festlegung von Funktionen und Verantwortlichkeiten, Festlegung der Stufen der Qualitätssicherung). [2-Planung]
- Im Rahmen von Test und Abnahme werden alle relevanten Dokumente und Ergebnisse gesichtet und überprüft sowie Tests zur Überprüfung der Anwendbarkeit und Funktionalität durchgeführt. [3-Test]
- Den Abschluss des Prozesses bildet die Abnahme der Projektergebnisse durch den Praxispartner (z.B. zusätzlich Abnahmeprotokoll). [4-Abnahme]

Nutzen:

- Sicherstellung der Qualität der im Projekt erstellten und an die Praxispartner zu liefernden Ergebnisse
- Reduzierung von Fehlern im Betrieb
- Sicherstellung der Dokumentationsqualität

Beteiligte Funktionen und Verantwortlichkeiten:

Prozessschritt Funktion	1-Definition	2-Planung	3-Test	4-Abnahme
Praxispartner	B/D	B/D	D	D
Projektkoordinator	B/D	B/D	B/D	D
Teammitglieder	(I)	(I)	D(I)	I
Teilprojekt-/ Arbeitspaketverantwortlicher	D	D	D	I
Lenkungskreis	(I)	(I)	(I)	E

Legende: D = Durchführung B = Beratung (I) = Im Fall einer Anfrage wird informiert
 E = Entscheidung I = Information

Externe Kommunikation

Prozessbeschreibung:

- Die externe Kommunikation (z. B. über die Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg) wird von den Projektkoordination ggf. unter Absprache mit involvierten Konsortialpartnern geplant und vorbereitet. [1-Planung]
- Die externe Kommunikation muss vom (stellvertretenden) Lenkungskreisvorsitzenden – bei den die Partner unmittelbar betreffenden Fällen unter Rücksprache mit dem jeweils den betroffenen Partner im Lenkungskreis repräsentierenden Mitglied – abgenommen werden. [2-Abnahme]

Nutzen:

- Sicherstellung der Geheimhaltung nicht zur Veröffentlichung vorgesehener sensibler Dokumente
- Sicherstellung der externen Kommunikation im Sinne aller im Lenkungskreis vertretener Praxispartner

Beteiligte Funktionen und Verantwortlichkeiten:

Prozessschritt Funktion	1-Planung	2-Abnahme
Praxispartner	B/D	I
Projektkoordinator	B/D	D
Teammitglieder	(I)	(I)
Teilprojekt-/ Arbeitspaketverantwortlicher	D	(I)
Lenkungskreisvorsitzender	(I)	E
Lenkungskreis	(I)	(B)

Legende: D = Durchführung B = Beratung (B) = Im Fall eines Partnerbezugs wird beraten
 E = Entscheidung I = Information (I) = Im Fall einer Anfrage wird informiert

6.1.3 Patentstrategie

Es wurde eine Patentstrategie für das IIC-Forum entwickelt, die sowohl die Interessen der Forschungseinrichtungen als auch die der kooperierenden Wirtschaftspartner berücksichtigt. Die Schwerpunkte der Strategie sind in diesem Abschnitt dargestellt.

Schutzrechtstrategie

Generell umfasst eine Patentstrategie folgende drei Schritte:

- Charakterisierung der Ausgangssituation – Ist-Analyse der Patentsituation beim Erfinder selbst und bei den kooperierenden Partnern im Themenfeld der Erfindung
- Welche Ziele sollen mit Patenten verfolgt werden?
- Erarbeitung der Patentstrategie als möglicher Weg von der Ausgangssituation hin zu den angestrebten Zielen. Die Strategie enthält Maßnahmen und Konzepte zur Zielerreichung

Zu Beginn des Projekts sind individuelle Vereinbarungen herauszuarbeiten und verständlich zusammengefasst in Form von Forschungs- und Entwicklungsverträgen oder Kooperationsverträgen aufzusetzen. Das betrifft vor allem den Umgang mit Forschungsergebnissen und eingebrachtem Wissen und Knowhow der kooperierenden Partner. Diese Informationen müssen zusammen mit generellen Informationen zum Umgang mit geistigem Eigentum, deren Nutzen und Bedeutung den Partnern mitgeteilt werden. Dies kann z. B. mit Hilfe von Broschüren und Vorträgen zum Umgang mit dem geistigen Eigentum geschehen.

Über die Laufzeit des Projekts sollte ein Verantwortlicher über erweiterte Kenntnisse des Umgangs mit geistigem Eigentum verfügen. Dieser dient als Ansprechpartner für alle Projektmitarbeiter und kann beratend zur Seite stehen. Dieser stellt als Bindeglied zwischen den Erfindern, kooperierenden Partnern, der Universität und einer Verwertungsagentur die erforderliche Kommunikation sicher. Ebenso sollte dieser in Zusammenarbeit mit der Projektleitung für die konsequente Umsetzung der Vereinbarungen aus der Kooperationsvereinbarung und den weiteren internen Abreden sorgen, sollte es dergleichen geben.

Zur Beendigung des Projektes hat eine Aufarbeitung der erarbeiteten Ergebnisse zu erfolgen. Hier werden die Ergebnisse gesammelt und an die kooperierenden Partner verteilt und dokumentiert. Der zeitliche Ablauf für das IP-Management im Projekt ist schematisch in Abb. 3 dargestellt.

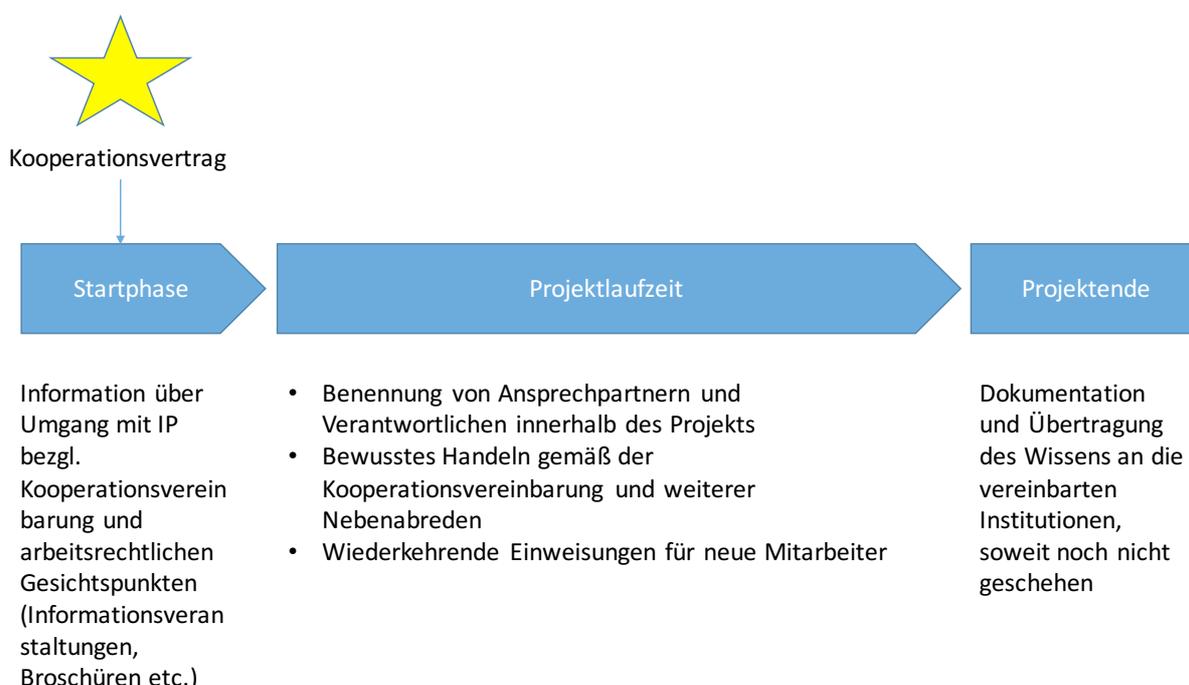


Abbildung 3: Ablauf für das IP-Management im Projekt

Patentstrategien für Forschungsk Kooperationen

Um einen wie oben dargestellten IP-Management-Ablauf erfolgreich umzusetzen, muss sich dieser auch in eine Gesamtstrategie der Universität eingliedern. Eine derartige Lösung existiert teilweise schon an manchen Hochschulen. Das Tokyo Institute of Technology zum Beispiel hat eine klare Policy, welche allgemein öffentlich zugänglich ist. Hier ist der generelle Umgang mit geistigem Eigentum an dem Institut festgehalten und gibt für alle Beteiligten klare Richtlinien vor, innerhalb derer konform gehandelt wird. Die Patentstrategie gliedert sich darüber hinaus idealerweise auch in die Gesamtstrategie der übergeordneten Institution ein.

Patentstrategien müssen nicht zwangsweise neu erfunden werden, denn es bieten sich viele Einrichtungen an, die konsultiert und auf Übertragbarkeit untersucht werden können.

Ein weiterer Punkt ist die generelle Bewusstseinsstärkung der Mitarbeiter im Umgang mit dem Wissen der Institution und dem eigenen bzw. neu gewonnenen Ergebnissen. Das kann durch die Einweisung und Weiterbildung aller Beteiligten durch einen Verantwortlichen bzw. Ansprechpartner für IP-Fragen geschehen.

Darüber hinaus empfiehlt sich, ein Instanz einzurichten, die neben der Leitung des Forschungsprojektes aus ausgewählten Vertretern der engen und repräsentativen Partner besteht. Sollten Lücken aus dem Kooperationsvertrag nun in unklaren Situationen zum Streit führen, können hier interne Wogen geglättet und Abreden getroffen werden um Rechtsstreitigkeiten zu umgehen.

Grundsätzlich bietet es sich an Forschungsk Kooperationen als kleine oder mittlere Unternehmen zu betrachten und dementsprechend zu führen. Die Universität fungiert dabei als Mutterunternehmen.

Patentstrategie an der TU Bergakademie Freiberg

Die TU Bergakademie Freiberg hat sich in den letzten Jahren als Ressourcenuniversität profiliert. Sie kann mit ihren Forschungsprofilen „Material, Energie, Umwelt und Geo“ auf nachfolgenden Gebieten anerkannte schutzrechtsrelevante Forschungsschwerpunkte ausweisen:

- Entwicklung, Erzeugung und Verarbeitung von Werkstoffen und Baumaterialien
- Werkstoffveredlung und -einsatz
- Baumaschinen, Spezialtiefbau, Baustoffe
- Maschinenbau, Automatisierungstechnik
- Halbleitermaterialien
- Mechanische und thermische Verfahrenstechnik
- Energietechnik
- Werkstoff- und Abfallrecycling
- Geoingenieurwesen

Seit 2006 gab es an der TU Bergakademie Freiberg einen starken Anstieg bei den angezeigten Erfindungsmeldungen, nicht nur bei solchen Projekten, die mit Forschungspartnern gebunden sind, sondern auch aus Themen öffentlich geförderter Forschung bzw. sonstigen Forschungsaktivitäten der Wissenschaftler.

Mit der schutzrechtlichen Verwertung strebt die TU Bergakademie Freiberg gemeinsam mit allen kooperierenden Partnern wie z. B. andere Wissenschaftseinrichtungen und Unternehmen folgende Ziele an:

- Sicherung wissenschaftlicher Ergebnisse in Schwerpunktbereichen der Forschung mit dem Ziel einer Lizenzvergabe oder eines Patentverkaufs, um einen Beitrag zur Refinanzierung der Verwertungsaufwendungen zu leisten,
- Sicherung der erfindersischen Grundidee bei geplanter Antragstellung für Forschungsprojekte auf Schwerpunktgebieten entsprechend der Profillinien der Universität,
- Nutzung der Patente zur Schaffung von Grundlagen für neue Forschungsprojekte
- Information des wiss. Nachwuchses mit gewerblichen Schutzrechten
- Stärkung der Innovationskraft der Universität mit einem profilierten Patentportfolio

- Erhöhung der Attraktivität gegenüber der Wirtschaft, um FuE-Projekte zu erhalten und
- Unterstützung der Gründung innovativer Firmen aus der Hochschule auf der Basis von Schutzrechten.

Um das „Patentbewusstsein“ an der TU Bergakademie Freiberg weiter auszuprägen, sollen verstärkt Weiterbildungsveranstaltungen und Beratungsgespräche für Wissenschaftler und Mitarbeiter angeboten werden. Hier ist vor allem das Zusammenwirken mit dem Gründernetzwerk SAXEED - einem IIC-Konsortialpartner - und der Graduierten- und Forschungsakademie (Zielgruppe Promovenden) zu nutzen.

Die Abteilung Forschungsangelegenheiten, Sachgebiet Schutzrechte, nimmt an der TU Bergakademie Freiberg die Koordinierung der Schutzrechtsarbeit wahr und entwickelt im Zusammenwirken mit den am Erfindungsprozess Beteiligten die jeweilige Verwertungsstrategie. Dazu werden auch externe Dienstleister, z. B. die Sächsische Patentverwertungsagentur, Patentinformationszentren oder Patentanwaltsbüros, einbezogen.

Hauptanliegen der Schutzrechtsarbeit an der TU Bergakademie Freiberg ist es, den Wissens- und Technologietransfer aus dem Hochschulbereich in die Wirtschaft zu stärken und dabei die Interessen der Universität zu wahren. Abbildung 4 zeigt einen schematisch Vorschlag wie der Ablauf des Patentverfahrens prinzipiell ablaufen kann.

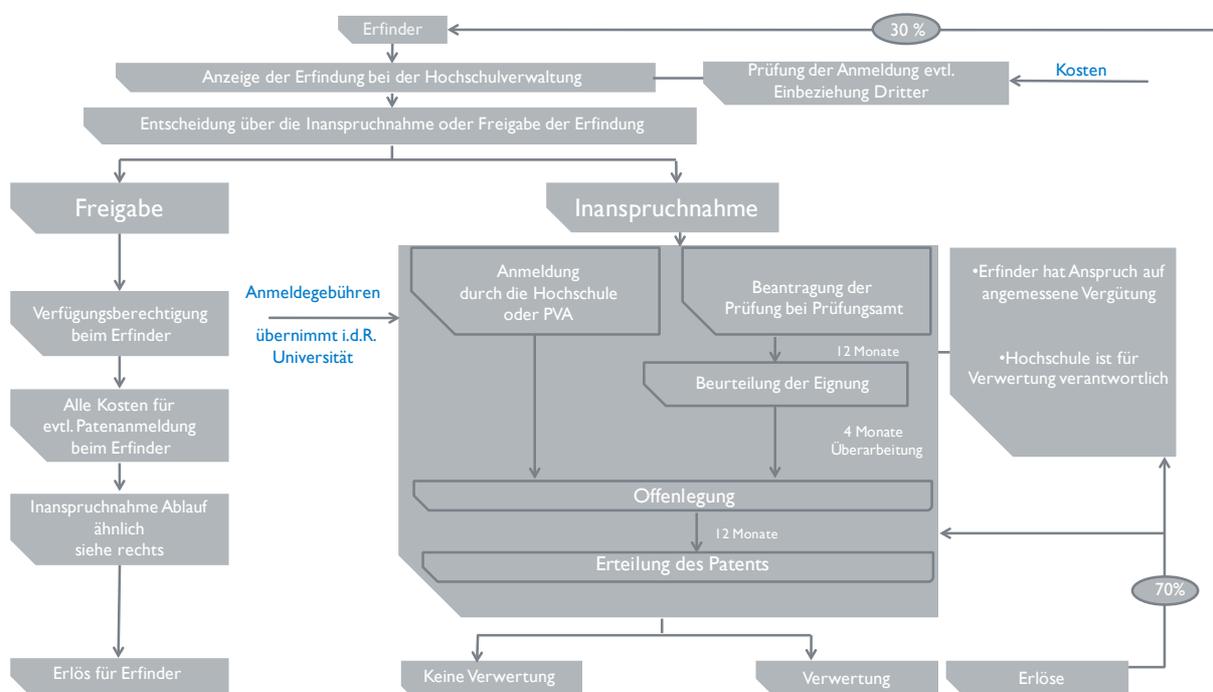


Abbildung 4: Entwurf einer Patentstrategie für die TU Bergakademie Freiberg

Zusammenwirken von Erfindern, Hochschule und Patentverwertungsagentur (PVA)

Die Evaluierung der Erfindungsmeldungen erfolgt zunächst durch die Hochschule bzw. auf der Basis von Gutachten einer Verwertungsagentur. Die Gutachten beinhalten eine Einschätzung der Patentfähigkeit und des Verwertungspotentials. Die daraus resultierenden Empfehlungen berücksichtigen die Ziele der Universität und der kooperierenden Partner und werden in Absprache mit den Erfindern ausgesprochen. Den Empfehlungen folgt die Universität in der Regel. Wird die Inanspruchnahme der Erfindung empfohlen und folgt die Universität dieser Empfehlung, so wird die Verwertung der Erfindung d. h. Schutzrechtsanmeldung und Lizenzierung oder Übertragung - von den Erfindern selbst mit weitgehender Unterstützung der Hochschule oder durch eine Verwertungsagentur operativ umgesetzt.

Patentierungskosten

Die Universität trägt gemeinsam mit den Instituten der Erfinder die Kosten für die Amtsgebühren sowie die patentanwaltlichen Tätigkeiten. Die Institute beteiligen sich mit einem individuell geregelten Mindesteigenanteil aus freien Drittmitteln oder alternativen Quellen, deren Verwendungsrichtlinien ein solches Vorgehen rechtfertigen. Die Institute können diesen Eigenanteil in Abstimmung der Universität auf bis zu 100 % der Patentkosten erhöhen. Ausgenommen von der Institutsbeteiligung sind Erfindungen von Doktoranden und Nachwuchswissenschaftlern ohne eigene Mittel.

Nicht schutzrechtfähiges Forschungsmaterial

Im Falle von nicht schutzrechtfähigem Forschungsmaterial kann eine Evaluierung der Vermarktungschancen dieses Forschungsmaterials sowie ggf. die aktive Vermarktung inklusive Vertragscontrolling durch eine Verwertungsgesellschaft erfolgen.

Abläufe und Zuständigkeiten

Erfindungen welche im Rahmen einer Kooperation entstanden sind, werden entweder in Absprache mit den Kooperationspartnern und gem. ArbNErfG behandelt oder im Falle eines vorab geschlossenen Kooperationsvertrags nach dessen Modalitäten. Die Umsetzung erfolgt durch die Hochschule oder die Verwertungsagentur. Die vor Projektbeginn zu schließenden Verträge (z. B. Forschungs- und Entwicklungsverträge oder Kooperationsverträge) bedürfen insbesondere bei der Beteiligung industrieller Vertragspartner der besonderen Berücksichtigung der für Hochschulen besonderen Bestimmungen des ArbNErfG. Die Universität ist bemüht, unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen sowohl im vorhinein in den jeweiligen Verträgen als auch bei späterer Lizenzvergabe für den jeweiligen Kooperationspartner akzeptable, aber auch für beide Seiten faire Konditionen auszuhandeln.

Unternehmensgründungen

Verwertungspartner können auch die Erfinder sein, wenn sie ihre Erfindung im Rahmen einer Selbständigkeit verwerten möchten. Die Universität unterstützt forschungsintensive Unternehmensgründungen ihrer Wissenschaftler vielfältig. Eine Unterstützungsmöglichkeit bietet in diesem Rahmen die Schutzrechts-Sicherung durch die Universität in Zusammenarbeit mit einer Verwertungsagentur und die anschließende Vergabe einer exklusiven Lizenz an die Gründer. Voraussetzung ist ein angemessenes Engagement der Gründer u.a. durch Erstellen eines Geschäftsplans. Strategische Unterstützung erhalten die Gründer dabei vom Gründernetzwerk SAXEED an der Universität.

6.1.4 Einrichtung von Projektclustern

Um die Aktivitäten inhaltlich zu bündeln und die Arbeit des IIC-Forums zu strukturieren und zu systematisieren, wurden Projektcluster gebildet. Entsprechend der Leitprojekte des Initialkonzepts INNOVATION IN CARBON wurde im IIC-Forum vier Projektcluster eingerichtet. Für jedes Projektcluster wurde ein Projektleiter benannt.

Projektcluster 1: Ressourceneffizienz und Flexibilisierung

Trotz der enormen Anstrengungen bei der Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare wird die Nutzung fossiler Energiequellen auf europäischer Ebene bis über das Jahr 2030 hinaus erforderlich sein. Fossile und regenerative Energien stehen auf absehbare Zeit nebeneinander und müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Für die verbleibende fossile Energieversorgung bedeutet dies, dass sie in vielfältiger Weise technologisch weiterentwickelt werden muss, um den steigenden Anforderungen genügen zu können. Diese Anforderung betrifft CO₂-Emissionsziele, Energieeffizienz, größere Flexibilität bei Lastwechseln und die nachhaltige Verwertung aller mit der Energieversorgung einhergehender, sekundärer Stoffströme. Der spezifische Verbrauch von Kohlenstoff soll durch intelligente Maßnahmen in der energetischen Verfahrenstechnik signifikant abgesenkt werden, ohne dass dabei Wirkungsgradverluste auftreten. Angewandte Forschung im Bereich der Kraftwerkstechnologie allein vermag dieses Ziel nicht zu erreichen. Es bedarf vielmehr erheblicher interdisziplinärer

Innovationen z. B. bei der Entwicklung wirtschaftlicher Speichertechnologien für Strom und Wärme, innovativer Funktionsmaterialien und innovativer Konzepte zur Nutzung von Überschussstrom. Zur Wirkungsgradsteigerung sind geeignete Methoden zur Vorbehandlung fossiler Energierohstoffe zu entwickeln. Die dazu erforderlichen thermischen Prozesse lassen sich nutzen, um metallurgische Reduktionsmittel mit höherer Effizienz zu entwickeln.

Projektcluster 2: Stoffliche Nutzung gasförmiger Kohlenstoffträger

Die Energie-, Stoff- und Landwirtschaft ist aktuell durch einen erheblichen Zwangsanfall an CO₂ gekennzeichnet. Für die stoffliche Nutzung muss CO₂ aus Abgasströmen oder aus der Luft abgetrennt, gereinigt und gespeichert werden. Prozesse, bei denen die erforderliche Reaktionswärme für endotherme Reaktionen durch die Verbrennung fossiler Kohlenstoffträger unter CO₂-Produktion erzeugt wird, sollen zunehmend durch allotherme Prozesse substituiert werden, bei denen die Reaktionswärme durch Einkopplung erneuerbarer Energien bereitgestellt wird. Zudem sollen innovative Technologien mit hoher Wertschöpfung entwickelt werden, um CO₂ und H₂O durch erneuerbare Energien in höherwertige, energiereiche Kohlenwasserstoffe umzuwandeln. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit geschlossener Kohlenstoffkreisläufe signifikant erhöht. Gleichzeitig werden Alternativen zu Produkten der Erdölchemie geschaffen. Die Verbesserung von CO₂-Bilanz und Wirtschaftlichkeit senkt Markteintrittsbarrieren und schafft neue Wertschöpfungsmöglichkeiten.

Projektcluster 3: CO₂-emissionsarme Stofftransformation

Zur Schaffung neuer Wertschöpfungsketten auf der Basis verschiedenster Kohlenstoffträger sind neue Stoff- und Verfahrenskombinationen mit hohen stofflichen und energetischen Wirkungsgraden zu entwickeln, welche gleichzeitig die Schließung von Kohlenstoff- und assoziierten Metallkreisläufen erlauben. Es werden die Grundlagen für neue Technologien zur Direktnutzung fossiler und biogener Naturstoffe, Nieder- und Hochtemperaturkonversion und Synthese entwickelt. Neue Verfahren der In-situ-Analytik ermöglichen es, die Konversionsprozesse hochselektiv zu steuern. Damit werden neue Wertschöpfungsoptionen bei der lokalen Nutzung von Überschussstrom aus regenerativer Erzeugung als auch in den Bereichen Recycling, industriennahe Dienstleistungen und Maschinenbau eröffnet.

Projektcluster 4: Rückverstrombare metallurgische und chemische Energiespeicher

Für das Gelingen der Energiewende ist die Entwicklung innovativer Speichertechnologien mit hohen Kapazitäten erforderlich. Die Vision besteht darin, industriell etablierte Elektrolyse- und Reduktionsprozesse, die weltweit zu den größten Stromverbrauchern zählen, wie z.B. die Aluminium-Elektrolyse und die Chlor-Alkali-Elektrolyse, reversibel ausulegen und dadurch metallurgische und chemische Hochleistungsspeicher für erneuerbare Energien zu entwickeln. An 18 Standorten in Deutschland werden derzeit Chlor-Alkali-Elektrolysen betrieben, die einen Stromverbrauch von insgesamt 13 TWh/a aufweisen (das 330-fache der gesamtdeutschen Pumpspeicherkapazität). Der Stromverbrauch der Aluminium-Elektrolysen in Deutschland liegt aktuell bei 7,4 TWh/a. Mit der Umkehr dieser Prozesse könnte erneuerbarer Strom im industriellen Maßstab rückverstrombar gespeichert werden. Hierfür sollen durch Entwicklung geeigneter Speicher- und Rückverstromungstechnologien sowie Dekarbonisierung der Prozesse die technologischen Grundlagen gelegt werden.

6.1.5 Ableitung der Strategieziele des IIC-Forums

Die nachhaltige Etablierung einer LCE gehört zu den komplexesten Herausforderungen heutiger Industriegesellschaften. Für die Strategieentwicklung sind dabei Suffizienz-, Effizienz- und Konsistenzstrategien gleichermaßen von Bedeutung, bedingen und ergänzen sich gegenseitig. Während Effizienzstrategien vorrangig quantitativer Natur sind, stehen bei Konsistenzstrategien qualitativ neue Möglichkeiten der Energie- und Rohstoffnutzung im Fokus. Durch diese Strategien kann und muss das Potenzial erneuerbarer Energien und nachwachsender bzw. sekundärer Kohlenstoffträger in völlig neuen Dimensionen betrachtet werden. Energie- und Rohstoffwende müssen daher als Einheit verstanden werden. Durch den Übergang von fossilen Kohlenstoffträgern zu erneuerbaren Energieträgern wird eine völlig neue Qualität der Energieerzeugung erreicht. Im stofflichen Bereich besteht die neue Qualität darin, primäre fossile Kohlenstoffträger durch sekundäre bzw. biogene zu substituieren bzw. zu

ergänzen. Im Gegensatz zur energetischen Nutzung kann jedoch im stofflichen Bereich auf fossile Kohlenstoff in absehbarer Zeit nicht grundsätzlich verzichtet werden.

Durch die stetig wachsende Verfügbarkeit regenerativer Energiequellen, bis hin zur Option von Überschussstrom, und deren Nutzung für Stoffumwandlungsprozesse besteht die reelle Chance einer Transformation der derzeit noch dominierenden energetischen hin zu einer stofflichen Nutzung primärer und sekundärer Kohlenstoffträger. Gleichzeitig können Beiträge zur Schließung von Stoffkreisläufen unter drastischer Reduzierung bzw. weitgehender Vermeidung von CO₂-Emissionen geleistet werden. Innovative Alternativen zu traditionellen Industrieprozessen bieten sich beispielsweise in der Energietechnik, der Metallurgie und der chemischen Industrie. Werkstoffentwicklung, Maschinen und Anlagenbau, physikalische Technologien sowie die stoffliche Nutzung von Kohlenstoffträgern und deren Recycling können so wichtige Innovationsimpulse erhalten. In Abb. 5 sind die grundsätzlichen Zusammenhänge von Energie- und Rohstoffwende im Kontext einer Dekarbonisierung schematisch dargestellt. In diesem von Rohstoff, Energie- und Nutzungsform aufgespannten Raum lassen sich alle im Rahmen des Vorhabens durch die Projektpartner eingebrachten technologischen Zielstellungen einordnen.

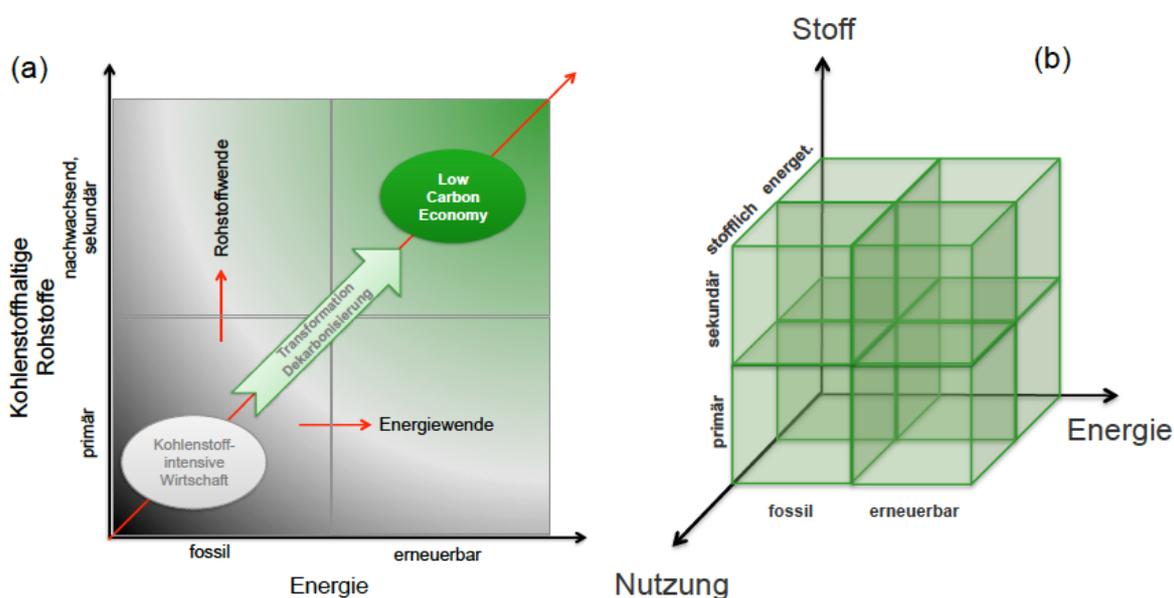


Abbildung 5: Transformation zur Low Carbon Economy (a), Ressourcenwende im Technologieraum einer LCE (b)

Das Grundanliegen des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON besteht in der Entwicklung von strategischen Ansätzen für die erfolgreiche Implementierung von LCE – Technologien in der industriellen Praxis, insbesondere für KMU in den neuen Bundesländern. Dies beinhaltet sowohl die Identifizierung relevanter Verfahren und Technologien als auch die Entwicklung von Optionen für einen erfolgreichen Technologietransfer. Unter Berücksichtigung der o. g. Nachhaltigkeitsstrategien und der erfolgten Clusterung von Leitprojekten lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt die nachfolgenden Strategieziele ableiten. Ausgehend von dem übergeordneten Ziel der Transformation einer kohlenstoffintensiven Wirtschaft hin zu einer LCE wurden entsprechend der Zielstellung des Vorhabens Hauptziele mit übergreifendem Charakter formuliert. Diese Hauptziele werden durch Teilziele untersetzt und im Weiteren durch konkrete technologische Zielstellungen der einzelnen Projektpartner präzisiert. Im weiteren Verlauf können die Strategieziele auf Basis neuer Erkenntnisse, die sich beispielsweise aus den Ergebnissen der Delphi-Studie oder durch die Integration neuer Themenfelder bzw. Partner ergeben können, präzisiert und erweitert werden.

6.2 Durchführung einer Delphi-Studie

Um die Energie- und Rohstoffwende erfolgreich bewältigen zu können, bedarf es grundlegender Orientierungen im Hinblick auf zukünftige Technologiefelder und deren Rahmenbedingungen. Als prospektive Methode für begleitende Innovations- und Technikanalysen haben sich bei Strategiebildungsprozessen insbesondere Delphi-Expertenbefragungen in der Praxis bewährt. Beispielfhaft sei an dieser Stelle auf die vom BMFT bzw. BMBF initiierten Delphi-Studien zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik verwiesen [1-3]. Der im Rahmen des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON stattgefundenen Strategiebildungsprozess wurde daher auch durch eine Delphi-Studie unterstützt, die inhaltlich auf die ursprünglich bereits im Initialkonzept formulierten vier Leitprojekte ausgerichtet ist. Mit der Delphi-Studie wurde das Ziel verfolgt, Entwicklungstrends einer LCE für die nächsten Jahrzehnte aufzuzeigen. Die Delphi-Studie schließt mehrere Phasen ein, die im Einklang mit der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens durchgeführt wurden (AP08 bis AP13). Die Darstellung der wesentlichen Ergebnisse der Delphi-Studie ist in den nachfolgenden Abs. 6.2.1 bis 6.2.4 zusammengefasst.

6.2.1 Durchführung der Delphi-Studie

Die Delphi-Befragung wurde als zweistufiger Prozess angelegt. In der ersten Phase ging es um die Einschätzung möglicher Entwicklungsverläufe und die Relevanz ausgewählter LCE-Technologien. Weiterhin wurden Hemmnisse bei der Umsetzung, potenzielle Folgeprobleme und der Zeithorizont in die Betrachtungen einbezogen. In der zweiten Phase wurden die Ergebnisse der anschließenden statistischen Auswertung den Teilnehmern der Befragung zur kritischen Reflexion und eventuellen Präzisierung vorgelegt. Um den Aufwand für die Projektpartner so gering wie möglich zu gestalten, erfolgt die gesamte Befragung onlinebasiert.

Thesen

Aufgrund der vorliegenden positiven Erfahrungen mit dem strukturellen Aufbau der Fragebögen sowie aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die Grundstruktur der klassischen Delphi-Studien weitgehend übernommen. Um einen Zugewinn an Informationen zu erhalten, wurden jedoch der standardisierte Teil der Fragebögen um eine Reihe offener Fragestellungen erweitert. Zu Beginn der Befragung sollten die Teilnehmer zu vier grundsätzlichen Entwicklungstrends Stellung nehmen und diese quantitativ einschätzen:

- anthropogener Einfluss auf die Klimaerwärmung
- verfügbare Menge an Überschussstrom 2050
- Energie- und Rohstoffmix (fossil/erneuerbar) im Jahr 2050
- Anteil energetischer/stofflicher Nutzung von Kohlenstoffträgern 2050

Die Generierung der Thesen erfolgte auf Grundlage von Literaturlauswertungen zum Stand der Technik, aktuellen Entwicklungstrends und wurde durch Expertengespräche ergänzt. Da durch die assoziierten Projektpartner nicht die gesamte Bandbreite der LCE abgedeckt werden konnte, wurden nur Thesen aufgenommen, die im Rahmen des Vorhabens für die Projektpartner auch relevant waren. Die Thesen bezogen sich auf die aus gegenwärtiger Sicht wichtigsten Entwicklungstrend einer LCE und deckten thematisch die im Vorhaben formulierten Leitprojekte ab:

- Ressourceneffizienz und Flexibilisierung
- Stoffliche Nutzung gasförmiger Kohlenstoffträger
- CO₂-emissionsarme Stofftransformation
- Rückverstrombare metallurgische und chemische Energiespeicher

Im Ergebnis der Literaturlauswertung und der durchgeführten Expertengespräche wurde zunächst ein „Thesenpool“, bestehend aus einer Vielzahl potenzieller Einzelthesen gebildet. In einem iterativen Prozess wurden die Thesen hinsichtlich ihrer Relevanz und Aussagekraft für das Vorhaben präzisiert, Doppelungen herausgenommen und auf Verständlichkeit geprüft. Nach diesem Auswahlverfahren wurden letztlich die folgenden 42 Einzelthesen zur LCE in die Befragung aufgenommen:

1. Erneuerbare Energien, insbesondere Wind und Photovoltaik, erreichen einen Stand, der sie auch ohne Subventionen wettbewerbsfähig macht.
2. Konventionelle Kraftwerke haben eine hohe Flexibilität erreicht, die es erlaubt, innerhalb von 30 Minuten von Volllast auf 20 % Mindestlast herunterzufahren.
3. Angekoppelt an das Stromnetz existieren effizient geregelte dezentrale Speichersysteme, um Überschussstrom in Gebäudestrukturen und Wasserreservoirs zu speichern.
4. Überschussstrom aus erneuerbaren Energien wird in wirtschaftlich relevantem Umfang für elektrothermische und elektrochemische Stoffumwandlungen genutzt. (Power2Heat, Power2Chemicals).
5. Die Synthesechemie nutzt überwiegend endotherme Reaktionen und stellt die erforderliche Reaktionswärme über erneuerbare Energien bereit.
6. Bei der Elektromobilität hat Deutschland international die Marktführerschaft übernommen.
7. Die Anzahl batteriebetriebener Elektrofahrzeuge hat eine Dimension angenommen, dass sie als dezentrale Speicher genutzt werden können.
8. Beim Gebäudebestand steigt die mittlere jährliche energetische Sanierungsrate von derzeit 1 % auf 3 %.
9. Chemische Energiespeicher für erneuerbare Energien sind in ausreichender Kapazität vorhanden und lassen sich wirtschaftlich betreiben.
10. Über Gewinnungselektrolysen werden erneuerbare Energien z. B. in Metallen, in Chlor, Natronlauge oder Wasserstoff großtechnisch gespeichert.
11. Die Energiebereitstellung über großräumige Verteilernetze ist auf hybride und multimodale Strukturen umgestellt, die die Versorgungsnetze von Strom, Wärme und Gas, einschließlich Wasserstoff, verknüpfen.
12. Energieintensive Industrieprozesse sind so flexibel gestaltet, dass fluktuierende Strommengen nutzbar sind.
13. Der Kohlenstoffbedarf der chemischen Industrie wird zu über 50% durch einheimische Rohstoffe gedeckt.
14. Überschussstrom wird direkt zur CO₂-emissionsneutralen Erzeugung von Trockenkohlestaub und Koksstaub eingesetzt (Fleißner-Trocknung mit Direktstromeinkopplung in wässrige Slurries und Leistungsplasma-Einkopplung zur Verkokung im Flugstrom).
15. Eine CO₂-arme Kohlechemie unter Einkopplung erneuerbarer Energien und nachwachsender/sekundärer Rohstoffe wird wirtschaftlich tragfähig.
16. CCS-Technologien finden praktische Anwendung und dienen der wirtschaftlich tragfähigen Zwischenspeicherung von fossilem/biogenen CO₂, um dieses unter Einsatz erneuerbarer Energien stofflich zu nutzen.
17. Kohlenstoff wird in werthaltigen Produkten dauerhaft chemisch gebunden. Diese Produkte lassen sich nach ihrer Nutzungsphase vollständig recyceln.
18. Die Hydrierung von Kohlenstoffträgern mit Elektrolysewasserstoff aus erneuerbaren Energien wird wirtschaftlich tragfähig.
19. Es ist wirtschaftlich möglich, auf elektrochemischem bzw. katalytischem Wege, eine direkte Hydrierung von chemisch gebundenen CO₂ aus Fang- bzw. Abtrennungsreagenzien vorzunehmen und dieses direkt in Methanol umzuwandeln.
20. Aus bitumenarmen, salzhaltigen Kohlen bzw. Kohle-Biomasseemischungen werden neuartige Spezialwachse über Hochdruckextraktion selektiv gewonnen.
21. Die vollständige Verflüssigung fossiler und biogener Kohlenstoffträger unter reaktiven, überkritischen Bedingungen unter Einsatz verschiedener Extraktionsmedien erlaubt die selektive Gewinnung hochwertiger Spezialchemikalien.
22. Durch die Verminderung des Einsatzes fossiler Kraftstoffe reduzieren sich die Treibhausgasemissionen im nationalen Verkehr um 85 % gegenüber 1990.

23. Es stehen Methoden und Materialien zur Verfügung, um Niedertemperatur-Abwärme wirtschaftlich nutzbar zu machen (z. B. ionische Flüssigkeiten und Thermoelektrika).
24. Selbstheilende Schutzschichten werden zur Anhebung der Korrosionsbeständigkeit und zur Absenkung der Ansatzbildung auf Frischdampfleitungen im Großkraftwerk aber auch für dezentrale Kleinkesselanlagen wirtschaftlich eingesetzt.
25. Mikrowellen-absorbierende bzw. -transparente und katalytisch wirksame Beschichtungen werden verwendet, um die Wärmeerzeugung und die Wärmeabfuhr am Ort der chemischen Reaktion gezielt zu steuern.
26. Zur Einstellung gewünschter Edukt- bzw. Produktgasgemische dienen neuartige Sensoren und Regelungssysteme, die die Reaktion selbst aber auch die Dosierung der Mikrowelleneinkopplung aktiv regeln.
27. Mittels kontinuierlicher Mikrowellenpyrolyse wird ein werthaltiges, genau definiertes Spektrum chemischer Grundstoffe erzeugt.
28. Eine Technologie basierend auf der Anwendung von Nichtgleichgewichtsplasma wird genutzt, um Erdgas CO₂-emissionsfrei in Wasserstoff und flüssige oder feste Carbon-Suboxide umzuwandeln. Es existiert eine Folgechemie für die Carbon-Suboxide.
29. Es existieren korrosionsbeständigere und preiswertere Alternativwerkstoffe für Bipolarplatten für die Hochtemperatur-Wasserdampf-Elektrolyse. Diese ermöglichen die Anhebung von Standzeit und Prozesstemperatur und erlauben Wirkungsgradsteigerungen um 25 % gegenüber klassischen Referenzverfahren.
30. Die HTC-Technologie, um biogene Stoffe durch thermische Behandlung in wässriger Suspension in Biokohlen zu überführen, wird energieautark wirtschaftlich betrieben.
31. Kohlenstoff als Reduktionsmittel in der Metallurgie wird zunehmend durch Wasserstoff ersetzt.
32. Die Primärgewinnung von Rohstahl erfolgt CO₂-frei.
33. In der Metallurgie werden zur thermischen Vorbehandlung von Einsatzstoffen heiße Prozessgase und Abwärme von Prozessschlacken genutzt.
34. Einblaskokse auf Braunkohlenbasis ermöglichen die Substitution konventioneller PCI-Kohlen im Hochofenprozess.
35. Es sind Werkstoffe auf Eisen- oder Nickelbasis verfügbar, die einen dauerhaften Einsatz bei 700°C ermöglichen.
36. Metalle lassen sich in einem kraftwerkskompatiblen Prozess verstromen und anschließend wieder zum Metall umwandeln. Metalle werden so zu Hochleistungs-Energiespeichern für erneuerbare Energien.
37. Industriell etablierte Elektrolyse- und Reduktionsprozesse lassen sich reversibel auslegen und dienen als metallurgische bzw. chemische Hochleistungsspeicher für erneuerbare Energien.
38. Bei nachwachsenden Rohstoffen erhöht sich der stofflich genutzte Anteil von derzeit 11 % auf 50 %.
39. Bodenverbesserungsstoffe auf Braunkohlebasis werden zur Renaturierung devastierter Böden genutzt.
40. Durch Kombination einer mikrowellengestützten Hydropyrolyse mit einer Plasmavergasung können komplexe metallhaltige Elektronikschrotte oder extrem temperaturbeständige Karbonfasern vollständig recycelt werden. Der Kohlenstoff wird in ein Synthesegas überführt und die Metalle werden zurückgewonnen.
41. Es existieren umfassende und lokal aufgelöste chemische Analysemethoden, um makromolekulare Ausgangsstrukturen, niedermolekulare Zerfallsprodukte und Elementverteilungen sowie entstehende Produkte in-situ zu charakterisieren.
42. Für strategische Rohstoffe, wie seltene Erden, stehen wirtschaftlich tragfähige Recyclingprozesse zur Verfügung, die es erlauben, eine Recyclingrate traditioneller Industriemetalle zu erreichen.

Struktur der Fragebögen

Die Einschätzungen der Teilnehmer zu den Thesen erfolgte nach folgender Systematik:

- Fachkenntnis zur These
- Grad der Zustimmung zur These
- Relevanz der These für
 - wirtschaftliche Entwicklung
 - gesellschaftliche Entwicklung
 - Lösung ökologischer Probleme
 - Arbeit und Beschäftigung
- Realisierungszeitraum (abgestuft nach Dekaden bis 2050)
- Wichtige Maßnahmen zur Realisierung
 - Ausbildung
 - Forschung und Entwicklung
 - notwendige Förderung
 - Regulierungsmaßnahmen
- Barrieren für die Umsetzung
 - fehlende technische Machbarkeit
 - fehlende Förderung
 - rechtliche Rahmenbedingungen
 - zu hohe Investitionskosten
 - fehlende Wirtschaftlichkeit
 - Mangel an Fachpersonal.

Abschließend folgen demographische Angaben der Teilnehmer zu Alter und Geschlecht sowie zur Branchenzugehörigkeit.

Auswahl der Teilnehmer der Befragung

Der Umfang des Teilnehmerkreises an Delphi-Expertenbefragungen wird in der Praxis in Abhängigkeit von der Thematik und der Zielstellung aber auch vom Zeitrahmen und den finanziellen Möglichkeiten sehr unterschiedlich gehandhabt. Ein Minimum liegt nach Literaturangaben bei zehn Teilnehmern, eine Obergrenze existiert nicht [4]. An der groß angelegten deutschen Delphi-Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik aus dem Jahr 1998 nahmen rd. 2.400 Experten teil [3].

Die Auswahl der Teilnehmer der Befragung zur LCE erfolgte nach folgenden Grundsätzen:

- Die Teilnehmer müssen auf einem oder mehreren für das Vorhaben relevanten Themenfeldern über das notwendige Expertenwissen verfügen
- Wirtschaftsunternehmen, insbesondere KMU, und Wissenschaftseinrichtungen sollten gleichermaßen vertreten sein
- Die Teilnehmer sollten mehrheitlich auch über die Entscheidungskompetenz verfügen, die im Rahmen des Vorhabens zu erarbeitenden Strategien umsetzen zu können

Vor diesem Hintergrund richtete sich die Umfrage nicht nur an die 30 direkten Projektpartner, sondern an die Gesamtheit des im Initialkonsortium INNOVATION IN CARBON vertretenen Partner, so dass auch externe Fachkompetenz entsprechende Berücksichtigung fand. Insgesamt wurden 70 Institutionen bzw. Personen angeschrieben und um ihre Mitwirkung an der Delphi-Studie gebeten.

6.2.2 Durchführung und Auswertung der ersten Befragungsrunde

Zur Teilnahme an der Delphi-Studie wurden zunächst 70 Projektpartner eingeladen. Die potenziellen Teilnehmer wurden über den konkreten Inhalt und die methodische Vorgehensweise informiert und um ihre Mitwirkung gebeten. Anschließend wurden die Fragebögen den Teilnehmern online zur Verfügung gestellt. Für die Bearbeitung durch die Experten wurde ein Zeitraum von einem Monat angesetzt. Die erste 1. Runde der Delphi-Befragung wurde im Mai 2015 gestartet. Während der Befragungsrunde der Delphi-Studie, wurde ein Auswertealgorithmus erstellt, der auf der Basis von Tabellen in MS Excel, die Häufigkeiten der Antworten sowie einige statistische Kennwerte berechnet.

Die erhobenen Daten wurden unter Nutzung von „Qualtrics“ ausgewertet. Sie sind in der Regel ordinal skaliert, d. h. die Daten bilden eine Rangfolge ab, wobei die Abstände der Ränge untereinander nicht gleich sind. Als Beispiel sei hier die Frage nach der Fachkenntnis der Befragten angeführt. Die Befragten haben die Wahl zwischen folgenden Möglichkeiten:

- groß („Sie arbeiten aktuell auf diesem Gebiet.“)
- mittel („Sie haben auf diesem Gebiet gearbeitet und/oder entsprechende Primärliteratur gelesen.“)
- gering („Sie haben entsprechende Sekundärliteratur gelesen bzw. Sie stehen im Gespräch mit Fachleuten.“)
- keine (Sie besitzen keine Fachkenntnis.“)

Trotz dieser Entscheidungshilfe, konnten die Abstände zwischen den einzelnen Antwortmöglichkeiten nicht genau abgeschätzt werden. Ebenso verhielt es sich mit der Frage nach der Zustimmung zu den Thesen sowie der Einschätzung des Realisierungszeitraumes. Hier ging es um eine ungefähre Einschätzung der kurz-, mittel-, oder langfristigen Verwirklichung der Thesen. Die Daten der Fragen nach der Relevanz der Thesen sowie der Barrieren bei der Umsetzung der Thesen sind dagegen nur nominal skaliert. Innerhalb der Antwortoptionen konnte keine Rangfolge aufgestellt werden. Die Antworten stehen nicht in Beziehung zueinander und sind somit gleichwertig. Aus diesen Gründen konnten viele Kennwerte der univariaten Datenanalyse nicht angewandt werden, da hierfür mindestens intervallskalierte Daten vorliegen müssen. Es können lediglich Häufigkeitsanalysen vorgenommen werden. Bei den Fragen ohne Mehrfachantworten konnte der Median als robustes Maß gegenüber Ausreißern zur Lage des 50%-Quantils herangezogen werden.

Die folgenden Gleichungen beschreiben die Analyse der Daten, die den Ausführungen zur Auswertung der Befragungsdaten zugrunde liegen. Zu Beginn wurden die Häufigkeiten der Antworten innerhalb einer These berechnet. In der Software SoSciSurvey werden die Antwortmöglichkeiten bei Einfachantworten mit arabischen Ziffern codiert, eine nichtbeantwortete Frage wird mit „-9“ codiert. Bei Fragen mit Mehrfachantworten wird für eine nicht ausgewählte Option eine 1, für eine ausgewählte Option eine 2 vergeben. Zur Vereinfachung werden in den Gleichungen die Codierung von SoSciSurvey verwendet.

Fachkenntnis:	groß	(Fk1)
	mittel	(Fk2)
	gering	(Fk3)
	keine	(Fk4)
	nicht beantwortet	(Fk-9)

$$A = n_{Fk1} + n_{Fk2} + n_{Fk3} + n_{Fk4}$$

$$Fk1 = \frac{n_{Fk1} * 100}{A} (\%)$$

$$Fk2 = \frac{n_{Fk2} * 100}{A} (\%)$$

$$Fk3 = \frac{n_{Fk3} * 100}{A} (\%)$$

$$Fk4 = \frac{n_{Fk4} * 100}{A} (\%)$$

$$Fk - 9 = \frac{n_{Fk-9} * 100}{A} (\%)$$

Zustimmung:	groß	(zu1)
	überwiegend	(zu2)
	teilweise	(zu3)
	keine	(zu4)
	nicht beantwortet	(zu-9)

Antwortende pro These: $A = n_{Zu1} + n_{Zu2} + n_{Zu3} + n_{Zu4}$

$$Zu1 = \frac{n_{Zu1} * 100}{A} (\%)$$

$$Zu2 = \frac{n_{Zu2} * 100}{A} (\%)$$

$$Zu3 = \frac{n_{Zu3} * 100}{A} (\%)$$

$$Zu4 = \frac{n_{Zu4} * 100}{A} (\%)$$

$$Zu - 9 = \frac{n_{Zu-9} * 100}{A} (\%)$$

Relevanz:	Wirtschaft	(1= nicht gewählt, 2=gewählt) (Wirt)
	Gesellschaft	(Gesell)
	Technik	(Technik)
	Ökologie	(Öko)
	Arbeitsplätze	(Arbpl)
	Andere, nämlich	(And) (Mehrfachantworten möglich)

Antworten pro These: $A = n_{RWi} + n_{RGe} + n_{RTe} + n_{RÖk} + n_{RAR} + n_{RAN}$

$$Wirt = \frac{n_{Wirt} * 100}{A} (\%)$$

$$Gesell = \frac{n_{Gesell} * 100}{A} (\%)$$

$$Technik = \frac{n_{Technik} * 100}{A} (\%)$$

$$Öko = \frac{n_{Öko} * 100}{A} (\%)$$

$$Arbpl = \frac{n_{Arbpl} * 100}{A} (\%)$$

$$And = \frac{n_{And} * 100}{A} (\%)$$

Realisierungszeitraum:	bis 2020	(Rz1)
	2021-2030	(Rz2)
	2031-2050	(Rz3)
	nach 2050	(Rz4)
	unmöglich	(Rz5)
	nicht beantwortet	(Rz-9)

Antwortende pro These: $A = n_{Rz1} + n_{Rz2} + n_{Rz3} + n_{Rz4} + n_{Rz5}$

$$Rz1 = \frac{n_{Rz1} * 100}{A} (\%)$$

$$Rz2 = \frac{n_{Rz2} * 100}{A} (\%)$$

$$Rz3 = \frac{n_{Rz3} * 100}{A} (\%)$$

$$Rz4 = \frac{n_{Rz4} * 100}{A} (\%)$$

$$Rz5 = \frac{n_{Rz5} * 100}{A} (\%)$$

Median und Quartile: Summe aller Antworten: $\sum_{i=1}^4 n_{(i)} = N$

Zahl der Personen an Eckwerten (Q₁, M, Q₃)

$$N_{Q1} = \frac{N}{4} \qquad N_M = \frac{N}{2} \qquad N_{Q3} = \frac{N \cdot 3}{4}$$

$$\tilde{x}_p = \frac{1}{2}(x_{n \cdot p} + x_{n \cdot p + 1}), \text{ wenn } n \cdot p \text{ ganzzahlig ist}$$

$$\tilde{x}_p = x_{n \cdot p}, \text{ wenn } n \cdot p \text{ nicht ganzzahlig ist}$$

n – Anzahl der Glieder einer Rangliste

p – Quantil (0 < p < 1) (Q₁ = 0,25; Q₂ = 0,5; Q₃ = 0,75)

Anhand dieser Kenndaten können die Häufigkeiten des Auftretens der verschiedenen Antwortoptionen sowie einige statistische Parameter ermittelt und Fragen zu den globalen Themenstellungen bzw. die persönlichen Daten ausgewertet werden. Im Weiteren werden innerhalb dieses Beitrages nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt.

Im Laufe der ersten Feldphase der Delphi-Studie nahmen von den ca. 70 Partnern des Ursprungskonsortiums 17 vollumfänglich teil und gaben einen vollständig ausgefüllten Fragebogen ab. Das entspricht einen Rücklauf von ca. 24 %. Dieser Wert liegt für sozialemprische Befragungen durchaus im akzeptablen Bereich. Verschiedene Kriterien für eine Mindestanzahl an Teilnehmern sind somit erfüllt und die Ergebnisse der ersten Runde sind geeignet die Gruppenmeinung abzubilden [4] [Häder & Häder 2000]. Die Teilnehmer stammen mehrheitlich (ca. 35 %) aus dem Arbeitsbereich Forschung & Entwicklung (s. Abb. 6). Dies schließt die Forschung an Universitäten und Hochschulen sowie privatwirtschaftliche Forschung ein. Zusätzlich haben 10 % der Teilnehmer angegeben, im öffentlichen Dienst tätig zu sein. Es ist davon auszugehen, dass hauptsächlich Beschäftigte an Universitäten und Hochschulen so geantwortet haben. Ein großer Teil der Teilnehmer entstammen der Energiewirtschaft und der chemischen Industrie (je ca. 15 %). Danach folgen die Metallurgie und die Recyclingwirtschaft mit jeweils ungefähr 6 % der Teilnehmer. Die Branchen Bergbau und Land- und Forstwirtschaft vereinigen jeweils nur unter 5 % der Teilnehmer auf sich. Es konnte festgestellt werden, dass aus fast jeder Branche, die einen Beitrag zur Low Carbon Economy im Rahmen des Ursprungskonsortiums leisten kann, mindestens ein Vertreter für die Delphi-Studie gewonnen werden konnte.

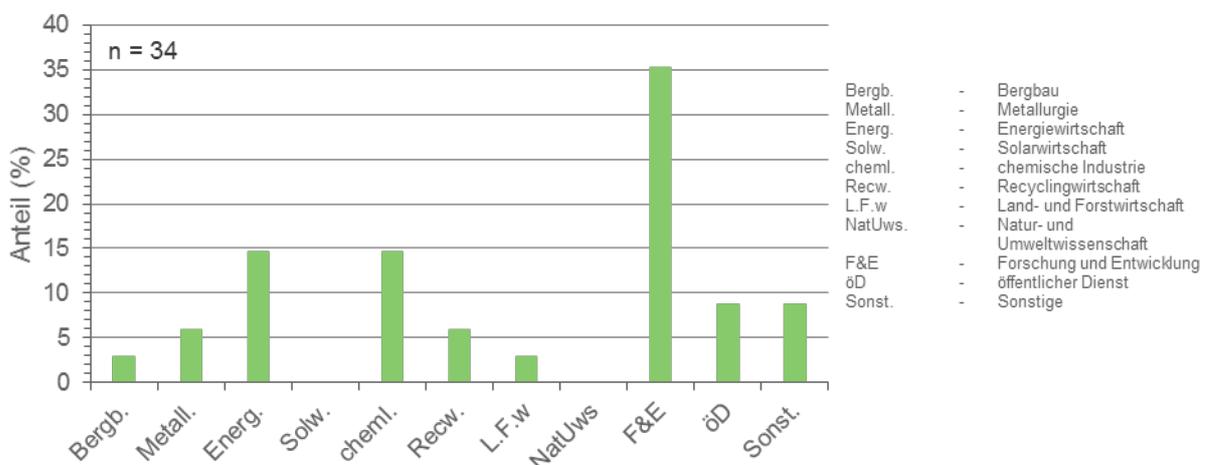


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Branchen

Wie bereits erwähnt, lag der Rücklauf der Fragebögen bei 24 %. Ähnliche Rückläufe wurden auch bei Delphi-Studien erzielt, die das Bundesministerium für Forschung und Technologie in den Jahren 1993 und 1998 u. a. zu den Themen Energietechnik durchgeführt hat [1,3]. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass besonders wenig junge Fachleute an der Befragung teilnahmen (s. Abb. 7). Es fällt auf, dass sich die Mehrheit der Teilnehmer in der Altersspanne von 51 – 65 Jahre bewegt. Dem gegenüber steht eine geringe Anzahl an unter 50jährigen. Der Anteil an jungen Fachleuten (31 – 40 Jahre) ist mit über 20 % der Teilnehmer vergleichsweise hoch, wobei jedoch keine unter 30-jährigen, also Absolventen und Berufseinsteiger an der Befragung teilgenommen haben. Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass der Anteil an weiblichen Teilnehmern deutlich unterdurchschnittlich ausfällt (Eine Frau unter 17 Teilnehmern). Dieser Umstand wurde im Bereich der Energietechnik auch bei vorangegangenen Delphi-Studie beobachtet [1,3].

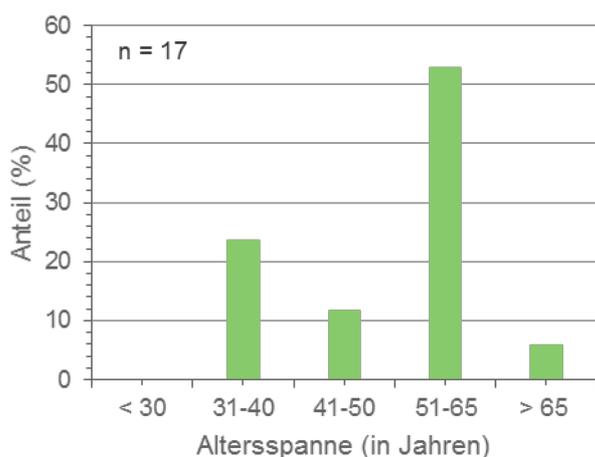


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Altersgruppen

Mit Hilfe der globalen Fragestellungen zu den Themen Klimaerwärmung, Rohstoff- und Energiemix und Nutzung von Kohlenstoffträgern konnten allgemeine Strömungen innerhalb der Gruppe der Teilnehmer festgestellt werden. Die Mehrzahl der Teilnehmer folgte der Auffassung des 5. Sachstandsberichts des IPCC, dass der menschliche Einfluss die Hauptursache für die beobachtbare Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts sei (s. Abb. 8). Im übrigen Feld der Teilnehmer nimmt die Zustimmung zu dieser These ab, jedoch die Mehrheit ist von einem überwiegenden Einfluss des Menschen auf die Klimaerwärmung überzeugt. Lediglich weniger als 10 % der Teilnehmer sahen einen geringen anthropogenen Beitrag zur Klimaerwärmung.

Innerhalb der Betrachtungen über die zukünftige Stromversorgung wird auch über die Thematik Überschussstrom und dessen Verwendung diskutiert. Aus diesem Grund wurden auch hierzu innerhalb der Delphi-Studie die Teilnehmer gebeten, eine Schätzung über zum Überschussstrom im Bereich von 0 bis 100 TWh im Jahr 2050 abzugeben (s. Abb. 9). Dabei wurde eine Übersicht mit den Überschussstromanteilen verschiedener Szenarien als Entscheidungshilfe zur Verfügung gestellt. Jeweils 30 % der Teilnehmer schätzen eine Überschussstromkapazität im Bereich von 26 – 50 TWh und von 76 – 100 TWh. Die restlichen Teilnehmer schätzen, gleichverteilt, eine Überschussstromkapazität von 0 – 25 TWh sowie 51 – 75 TWh. Dabei wurde nur in einem Fall die Möglichkeit gewählt, dass im Jahr 2050 keine Überschussstromkapazitäten zur Verfügung stehen. Damit ist das Befragungsergebnis unter den Teilnehmern der Studie ähnlich heterogen wie die Berechnungen der einzelnen Szenarien.

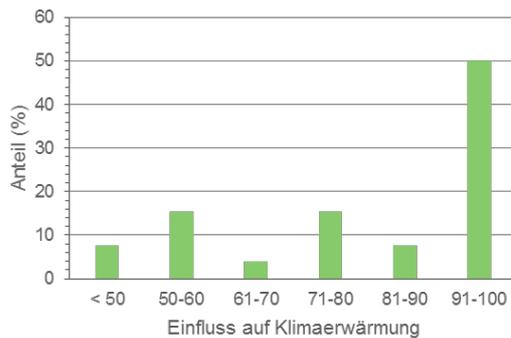


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilungen der Antworten zur Klimaveränderung

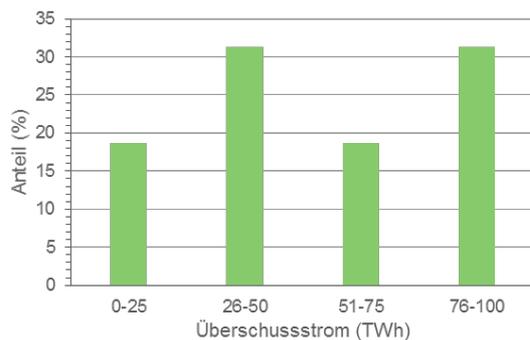


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilungen der Antworten zum Überschussstrom 2050

Hinsichtlich der Herkunft (fossil oder erneuerbar) von Energie und Rohstoffen werden nach Meinung der Mehrheit der Teilnehmer Energieträger und Rohstoffe mindestens zur Hälfte aus erneuerbaren Quellen stammen (s. Abb. 10). Dabei waren sogar mehr Teilnehmer (fast 60 %) davon überzeugt, dass dies im Bereich der Rohstoffe gelingt, während bei den Energieträgern dies von nur etwas mehr als 50 % der Teilnehmer eingeschätzt wurde. Des Weiteren wurde eingeschätzt, dass im Jahr 2050 eher die Energiebereitstellung mit erneuerbaren Energieträgern gelingt als die Umstellung der Rohstoffwirtschaft auf erneuerbare Rohstoffe (47 % der Teilnehmer vs. knapp unter 18 % der Teilnehmer). Da die Umstellung der Wirtschaft auf erneuerbare Rohstoffe offenbar schwieriger zu bewerkstelligen ist als die Umstellung der Energiewirtschaft auf erneuerbare Energieträger, schätzen noch 23 % der Teilnehmer ein, dass die Wirtschaft auch im Jahr 2050 fossile Rohstoffe nur maximal bis zur Hälfte mit erneuerbaren Rohstoffen wird substituieren können. Stellt man die Frage nach der bevorzugten Nutzung von Kohlenstoffträgern im Jahr 2050, so wird von der Mehrheit der Teilnehmer (53 %) eine überwiegend stoffliche Nutzung von Kohlenstoffträgern erwartet (s. Abb. 11).

Fast 30 % der Teilnehmer schätzen, dass es im Jahr 2050 möglich sein wird, Kohlenstoffträger fast ausschließlich stofflich zu nutzen, da Energie auch ohne den Einsatz von Kohlenstoffträgern gewonnen werden kann. Knapp 20 % der Teilnehmer schätzen jedoch ein, dass auch im Jahr 2050 Kohlenstoffträger vorrangig energetisch und weniger stofflich genutzt werden.

Die Auswertung der Daten zur 1. Runde der Delphi-Studie kann auf verschiedenen Ebenen durchgeführt werden. Zum einen können zu jeder These die Häufigkeitsverteilungen aufgestellt und die Thesen somit im Einzelnen verglichen werden. Insbesondere für verwandte Themengebiete und ähnliche Thesen können Vergleiche angestellt werden sowie der Vergleich mehrerer Befragungsrunden ist möglich.

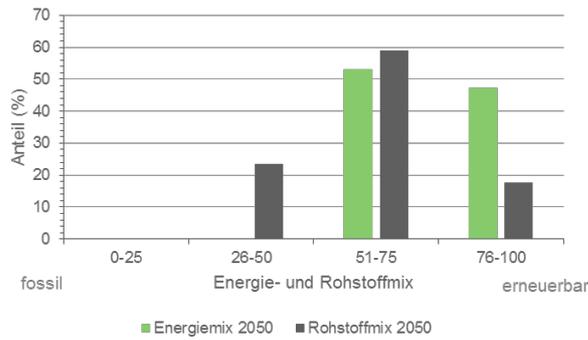


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilungen der Antworten zum Energie- und Rohstoffmix 2050

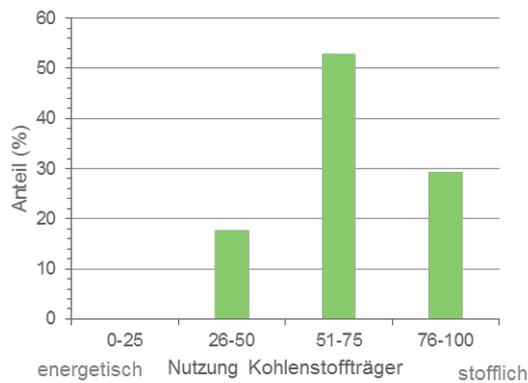


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilungen der Antworten zur Nutzung Kohlenstoffträger 2050

Am Beispiel der These 1 der Delphi-Befragung „Erneuerbare Energien, insbesondere Wind und Photovoltaik, erreichen einen Stand, der sie auch ohne Subventionen wettbewerbsfähig macht.“ soll hier exemplarisch die Auswertung vorgenommen werden. Zuerst wurde von den Teilnehmern die eigene Fachkenntnis zu diesem Thema eingeschätzt. Kombiniert wurde diese Abfrage mit der Zustimmung oder Ablehnung der These. Hier konnte man der These vollumfänglich zustimmen oder diese ablehnen. Auch Abstufungen der Zustimmung oder Ablehnung waren möglich. Abbildung 12 zeigt die Verteilungen der Fachkenntnis und Zustimmung am Beispiel der 1. These.

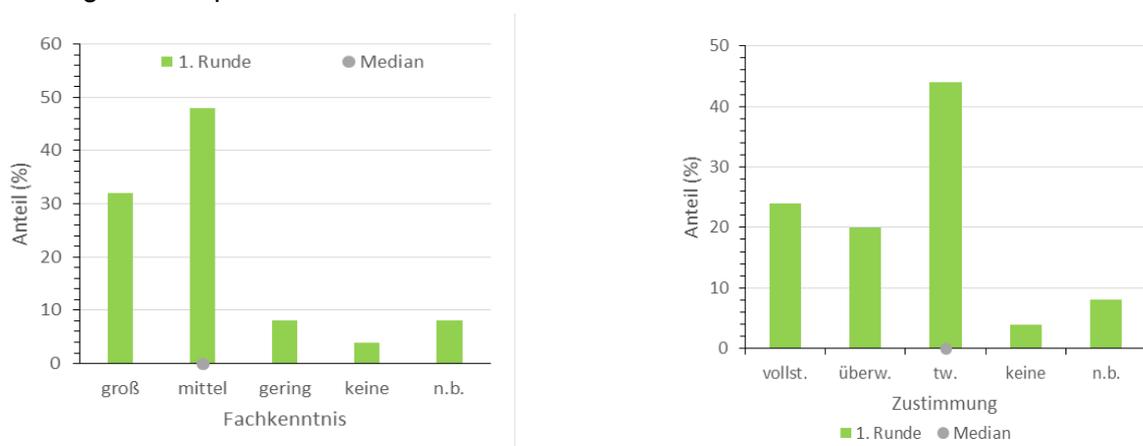


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilungen der Antworten auf die Fragen zur Fachkenntnis (links) und die Zustimmung (rechts) am Beispiel von These 1

Die Teilnehmer schätzen ihre Fachkenntnis bezüglich der These 1 mehrheitlich groß bis mittel ein, d. h. die Mehrheit arbeitet aktuell auf diesem Gebiet oder hat sich mit Primärliteratur beschäftigt und/oder auf diesem Gebiet vorher gearbeitet. Des Weiteren wurde die These mehrheitlich positiv bewertet, obwohl die Mehrheit der Teilnehmer der These nur teilweise zustimmten. Im Allgemeinen lehnte nur ein geringer Prozentsatz der Teilnehmer die These ab, ebenso beantworteten nur weniger als 10 % der Teilnehmer die Fragen zur These nicht. Relativ eng mit der Fachkenntnis und der Zustimmung zur These war die Einschätzung des Realisierungszeitraums verknüpft. Abbildung 13 zeigt die Abschätzung des Realisierungszeitraums durch die Teilnehmer für die These 1. Es ist festzustellen, dass fast 50 % der Teilnehmer die Realisierung der These bis zum Jahr 2030 für möglich halten. Dies entspricht auch der Lage des Medians der Verteilung. Dass der Median und das 1. Quartil der Verteilung denselben Wert angenommen haben, zeugt von einer relativ geringen Streuung innerhalb der Verteilung. 75 % der Teilnehmer hielt eine Umsetzung der These 1 bis in das Jahr 2050 für realistisch. Dabei hatten 15 % der Teilnehmer sogar eine Realisierung bis 2020 für möglich erachtet. Die relative Nähe der Lagemaße zueinander wird durch den kleinen Stichprobenumfang hervorgerufen.

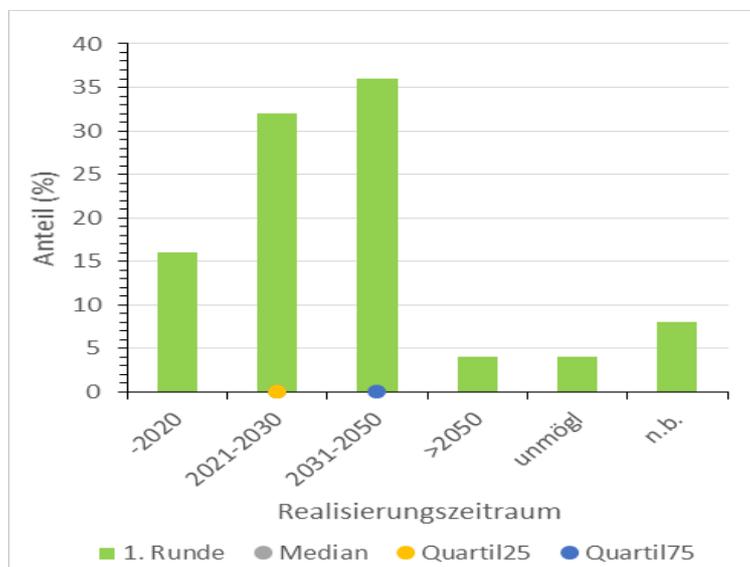


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Antworten zum Realisierungszeitraum der These 1, ergänzt durch den Median und das 1. und 3. Quartil der Verteilung

Zusätzlich sollten die Teilnehmer die Relevanz der Thesen für bestimmte Bereiche bestimmen und die Barrieren, die bei einer Umsetzung der Thesen auftreten, benennen. Hier waren Mehrfachantworten möglich und es konnten mit Hilfe einer Kommentarfunktion weitere relevante Themenbereiche sowie Barrieren benannt werden. Abbildung 14 fasst die Häufigkeitsverteilungen bezüglich der eingeschätzten Relevanz und der auftretenden Barrieren zu These 1 exemplarisch zusammen. Die These 1 wird häufig für wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragestellungen als relevant erachtet (jeweils ca. 30 %). Mit etwas geringerer Relevanz wird die These hinsichtlich technischer und ökologischer Fragestellungen eingeschätzt. Keine Relevanz wird der These im Hinblick auf aktuelle und zukünftige Beschäftigungseffekte beigemessen. Hinsichtlich der Barrieren wurden verschiedene Hemmnisse abgefragt, die eine Umsetzung einer These hinauszögern oder scheitern lassen können. Die Barrieren reichen dabei auf wissenschaftlicher Seite von einem Forschungsdefizit (Fordef) zu einer fehlenden technischen Machbarkeit (ftM) sowie zu einem Förderdefizit (Fördef). Damit sollten drei Hauptfragestellungen wissenschaftlicher Forschung abgebildet werden:

- Bestehen auf bestimmten Gebieten der Forschung Defizite, die es durch gezielte Forschungsprogramme abzubauen gilt, um die vorgestellten Thesen zu verwirklichen?
- Wenn entsprechende Defizite festgestellt werden, steht die Frage nach der technischen Machbarkeit.

- Zuletzt ist die Frage zu erörtern, ob für die identifizierten Forschungsdefizite auch passende Förderprogramme existieren. Ist dies nicht der Fall, so kann man in diesem Falle von einem Förderdefizit sprechen.

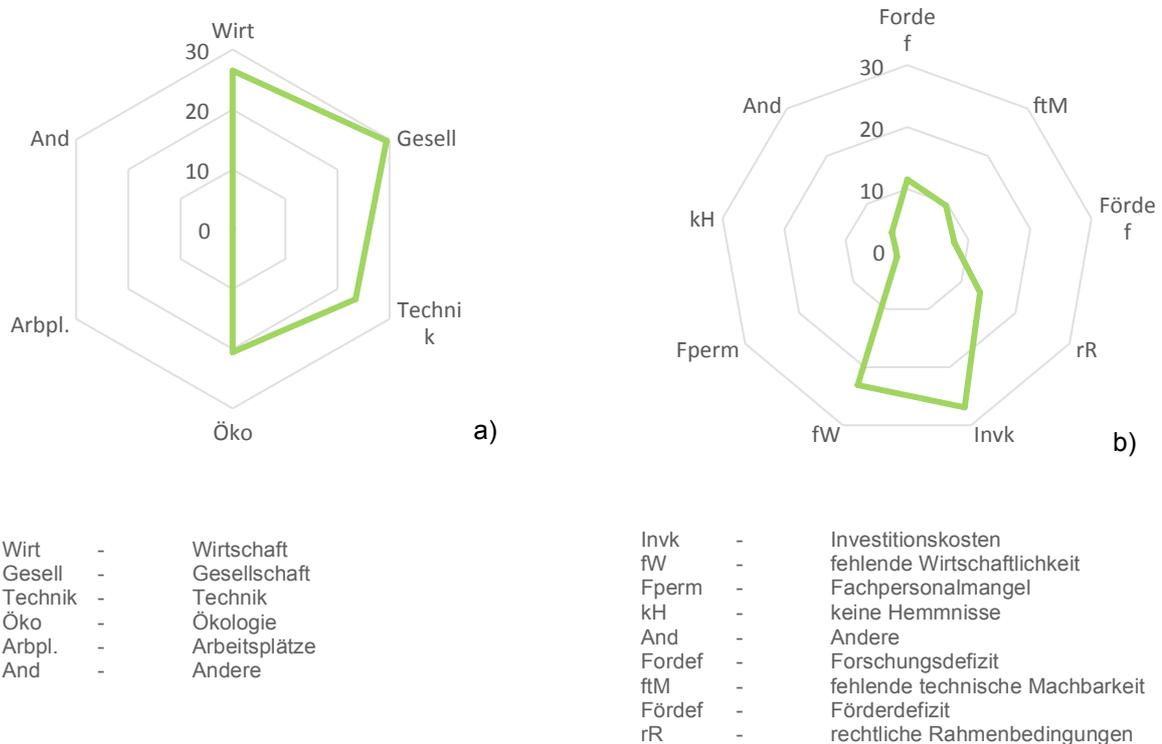


Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der Antworten zu These 1 bezüglich Relevanz (a) und Barrieren (b)

Die weiteren Barrieren betreffen Hemmnisse bei der wirtschaftlichen Umsetzung verschiedener Fragestellungen. Dies reicht von rechtlichen Rahmenbedingungen (rR), die eine Umsetzung erschweren, bis hin zu wirtschaftlichen Restriktionen wie beispielsweise zu hoher Investitionskosten einer Technologie (Invk). Damit geht auch eine fehlende Wirtschaftlichkeit (fW) einer Technologie einher. Weiterhin wird dies auch bedingt durch hohe Markteintrittsbarrieren oder das noch gar kein Markt für verschiedene Produkte oder Technologien existiert. Die Experten schätzen ein, dass für den Bereich des subventionsfreien und wirtschaftlichen Betriebes von erneuerbaren Energien Hindernisse in Form hoher Investitionskosten und damit fehlender Wirtschaftlichkeit existieren. Bislang war der Betrieb von Technologien zur Bereitstellung von erneuerbaren Energien vorrangig durch Subventionsleistungen als eine Art Anschubfinanzierung wirtschaftlich lukrativ. In diesem Zusammenhang werden auch rechtliche Rahmenbedingungen (ca. 15 % der Antworten) als Hindernis gesehen, um erneuerbare Energien subventionsfrei betreiben zu können.

Nicht alle Thesen erreichten entsprechende Zustimmungswerte, zumal auch die Experten ihre Fachkenntnisse zu bestimmten Themenstellungen als gering einschätzen. Dementsprechend nehmen die Häufigkeitswerte für eine komplette oder teilweise Zustimmung einzelner Thesen ab.

Besonders auffällig ist dies bei den Antworthäufigkeiten der Thesen 17 bis 21. Bei diesen Thesen werden vorwiegend die langfristig chemische Bindung von Kohlenstoff (These 17), die Nutzung von Elektrolysewasserstoff aus erneuerbaren Energie (These 18) sowie die direkte Hydrierung von chemisch gebundenen CO₂ (These 19) und die Gewinnung von Spezialprodukten aus der Extraktion von qualitativ weniger wertvollen Kohlen (These 20) thematisiert. Bei diesen Thesen schätzten die teilnehmenden Experten ihre Fachkenntnis als gering ein. In diesem Zusammenhang wird die Frage nach der Zustimmung zur These

vorwiegend nicht beantwortet (Häufigkeit von knapp 50 % für nicht beantwortet). Es ist zu vermuten, dass sich die Experten aus Mangel an entsprechender Fachkenntnis hier einer persönlichen Einschätzung zur These enthielten. Dieser Umstand korreliert auch mit den Antworthäufigkeiten bei der Frage nach dem Realisierungszeitraum der betreffenden Thesen. Auch hier wird, bedingt durch nicht ausreichende Fachkenntnis auf eine Einordnung des Realisierungszeitraums verzichtet. Aus diesem Grund ist es für besagte Thesen schwierig, sie aufgrund der Datenlage in einen größeren Kontext zu den Thesen zu stellen. Andererseits zeigen diese Informationsdefizite durchaus Möglichkeiten auf, diese Lücken durch ausgereifte Transferkonzepte für Wissen und Innovation zu verringern. Demgegenüber wurden beispielsweise auch Thesen aufgrund von vorhandener Fachkenntnis überwiegend abgelehnt (Thesen 11 und 29). Den Experten erscheint die Realisierung von großräumigen Verteilernetzen für u. a. Strom, Wärme und Gas über hybride und multimodale Strukturen als wenig realisierbar. Aus diesem Antwortverhalten wäre zu vermuten, dass ein großer Teil der Experten die These für nicht realisierbar hält. Dennoch wird eine Realisierung in einem langfristigen Zeitraum ab 2031 angenommen. Weniger als 20 % der Teilnehmer halten diese These für nicht realisierbar. Noch ausgeprägter ist die fehlende Zustimmung bei der These zu Alternativwerkstoffen für Bipolarplatten der Wasserdampf-Elektrolyse ausgeprägt. Fast 70 % der Teilnehmer stimmen der These nicht zu, obwohl sich 52 % der Teilnehmer eine Realisierung ab 2021 durchaus vorstellen können. Allerdings halten fast 20 % der Teilnehmer die These für nicht realisierbar. Aus diesem scheinbaren Widerspruch kann der Schluss gezogen werden, dass die Teilnehmer dieser These persönlich aus verschiedenen Gründen nicht zustimmen können, sie es aber technisch für möglich halten, dass die These im genannten Zeitraum verwirklicht werden kann.

Bei der Einschätzung der Relevanz der einzelnen Thesen für verschiedene Bereiche sowie bei der Benennung der Barrieren, die einer Umsetzung der Thesen entgegenstehen, zeichnen sich zwei Trends ab. In der überwiegenden Mehrzahl der Thesen werden diese von den Teilnehmern als relevant für Wirtschaft und Technik eingeschätzt. Die Relevanz der Thesen für gesellschaftliche Fragestellungen ist teilweise weniger stark ausgeprägt. Insbesondere technologiebetreffende Thesen werden auch dementsprechend eingeordnet, so dass dementsprechende höhere Werte ab These 24 auftreten. Der ökologische Aspekt wird nur bei einzelnen Thesen als stärker relevant erachtet (Thesen 31 bis 33, 39). Bei der Betrachtung der Barrieren, die die Umsetzung einzelner Thesen erschweren, ist festzustellen, dass auf der einen Seite meist fehlende Wirtschaftlichkeit und Investitionskosten und auf der anderen Seite meist ein Forschungsdefizit in Verbindung mit fehlender technischer Machbarkeit und einem Förderdefizit genannt werden. Teilweise kann eine nicht ausreichende Wirtschaftlichkeit auch durch einen Mangel an Forschung begründet sein (z. B. These 5). Hohe Häufigkeitswerte für die Antwortmöglichkeiten Förderdefizit und rechtliche Rahmenbedingungen legen den Schluss nahe, dass hier vor allem administrative Gegebenheiten einer Umsetzung im Wege stehen (z. B. These 8). Des Weiteren besteht bei ausgewählten Thesen noch Forschungsbedarf, obwohl die technische Machbarkeit nach Ansicht der Experten durchaus gegeben ist. Beispielsweise werden die CO₂-emissionsneutrale Erzeugung von Trockenkohlenstaub (These 14), die selektive Gewinnung von Spezialwachsen durch Hochdruckextraktion aus qualitativ „schwierigen“ Kohlen (These 20) oder die Gewinnung von Spezialchemikalien unter überkritischen Bedingungen von fossilen oder biogenen Kohlenstoffträgern so bewertet. Hierbei ist anzunehmen, dass sich der zukünftige Forschungsaufwand eher in Richtung einer wirtschaftlichen Tragfähigkeit als den Bereich der Grundlagenforschung zuwenden wird. Gänzlich im Bereich der Grundlagenforschung können, nach Meinung der Experten, die Mikrowellentechnologie und deren Einkopplung in bestehende Prozesse beschrieben werden (Thesen 26 und 27). Gleiches gilt für die Anwendung von Nichtgleichgewichtsplasma (These 28). Vorrangig rechtliche Rahmenbedingungen (Häufigkeit von 25 bis 30 %) stehen bei den Thesen 30 bzw. 39 deren Umsetzung im Wege.

Eine Aggregation des Datenmaterials zu Themengebieten erlaubt einen Überblick über die einzelnen Themenbereiche; ohne einzelne Thesen im Detail zu bewerten. Die vorgestellten Thesen können in folgende Themenbereiche untergliedert werden:

- Energie- und Energiesysteme

- stoffliche Kohlenstoffnutzung
- Technologie
- Metallurgie
- Rohstoffe und Recycling

In den meisten Themenbereichen schätzen die Experten ihre Fachkenntnis in der Regel von „mittel“ bis „gering“ ein. Nur im Themengebiet stoffliche Kohlenstoffnutzung wird häufig eine geringe bis keine Fachkenntnis angegeben. Dieser Umstand korreliert in der Regel gut mit der Häufigkeit von nicht beantworteten Fragen zur Zustimmung und zum Realisierungszeitraum der Thesen im entsprechenden Themenbereich. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass sich bei einigen Themenstellungen selbst die Experten nicht ganz sicher sind, wie bestimmte Thesen einzuschätzen und zu bewerten sind. Somit schätzten die meisten Experten nur sehr vorsichtig ab oder verzichteten darauf. Damit lassen sich unter Umständen Defizite und Lücken im wissenschaftlichen Diskurs sichtbar machen. Ähnliches lässt sich auch bei der Betrachtung der Zustimmung zu den Thesen eines Themenbereiches feststellen. In der Regel wurde den Thesen nur teilweise zugestimmt, bei einem hohen Anteil von nicht beantworteten Fragen. Auch hier kann durchaus von einem gewissen Potential für einen zukunftsgerichteten Gedankenaustausch ausgegangen werden, da doch unterschiedliche Auffassungen zwischen den verschiedenen Protagonisten bestehen. In der Regel wurde für die meisten Themengebiete ein Realisierungszeitraum von 2021 bis 2050 angegeben. Hier schwankten die Häufigkeiten von unter 20 % bis zu 35 % der abgegebenen Antworten. Kurzfristige Realisierungschancen wurden nur den Thesen im Themenbereich Energie- und Energiesysteme eingeräumt. Dafür werden im Themenbereich Rohstoffe und Recycling, nach Ansicht der Experten, die meisten Thesen erst langfristig verwirklicht werden können. Auffällig ist dagegen, dass im Themenbereich Energie- und Energiesysteme auch einige Experten der Meinung waren, dass bestimmte Thesen nicht verwirklicht werden können. Hier wurden die höchsten Häufigkeitswerte für die Antwortoption „unmöglich“ (10 %) bei der Frage der Realisierung erreicht.

6.2.3 Durchführung und Auswertung der zweiten Befragungsrunde

Entsprechend der Delphi-Methodik wurden nach der Auswertung der ersten Runde den Teilnehmern die Ergebnisse zur Kenntnis und Ihnen die Möglichkeit gegeben, die Beantwortung mit dem Wissen des Gruppenergebnisses noch einmal durchzuführen. In der Regel tritt bei dieser Vorgehensweise noch einmal ein gewisser Rückgang der Teilnehmerzahl in der zweiten Runde auf. So nahmen an der zweiten Runde dieser Delphi-Studie von den Teilnehmern der ersten Runde im Ursprungskonsortium noch rund 35 % teil, während im erweiterten Pool noch rund 30 % der Teilnehmer der ersten Runde teilnahmen. Diese Werte sind als Rücklaufquote für die zweite Runde durchaus akzeptabel. Die Auswertung der zweiten Runde im Vergleich zur ersten Runde ist im Abschlussbericht enthalten. Die Ergebnisse der zweiten Runde weichen meist von den Ergebnissen der ersten Runde nur unwesentlich ab. Die zweite Befragungsrunde wird meist auch durchgeführt, um einen Gruppenkonsens herbeizuführen. Es zeigt sich, dass an den grundlegenden Tendenzen keine Änderung durch die zweite Befragungsrunde auftritt. Auffällig ist, dass bestimmte Aspekte mit höheren Häufigkeitswerten auftreten, während die Ausprägung der Häufigkeiten für verschiedene Antwortoptionen relativ gering ist. Es liegt an dem doch geringen Stichprobenumfang der zweiten Befragungsrunde, dass teilweise Einzelergebnisse doch stärker betont werden. Der Vergleich der Befragungsergebnisse für beiden Runden, getrennt nach Ursprungskonsortium und erweitertem Pool, sind im Abschlussbericht enthalten.

Vor der geplanten, zweiten Runde der Delphi-Befragung innerhalb des Initialkonsortiums INNOVATION IN CARBON wurde eine deutschlandweite Befragung von Experten zu den vorgestellten Themengebieten in Erwägung gezogen und auch durchgeführt. Für diesen erweiterten Personenkreis wurde ein institutsinterner Verteiler verwendet. Die Intention bestand darin, den Fragebogen einem größeren Kreis an potenziellen Protagonisten der LCE zugänglich zu machen und deren Expertise zur künftigen Rolle einzelner LCE-Technologien zu eruieren. Die Einzelauswertung der Thesen ist ausführlich im Abschlussbericht dokumentiert. An dieser

Stelle wird nur auf die aggregierte Auswertung nach Themenbereichen eingegangen. Es kann beispielsweise festgestellt werden, dass sich die Antworthäufigkeiten im ersten Themenbereich (Energie- und Energiesysteme) kaum voneinander unterscheiden. Die Experten beider Teilnehmerpools schätzten ihre Fachkenntnis im Themenbereich in der Mehrzahl als „mittel“ ein und gingen nur teilweise mit den Thesen konform. Weiterhin wurde ein Realisierungszeitraum ab 2031 in der Mehrzahl angegeben, obwohl sich viele Teilnehmer im erweiterten Pool durchaus auch eine Realisierung der Thesen ab 2021 vorstellen können. Hinsichtlich der Relevanz und der Barrieren, die eine Umsetzung der Thesen hinauszögern können, gibt es kaum Unterschiede zwischen den Teilnehmerkreisen. Die Teilnehmer aus dem Ursprungskonsortium geben mit einer größeren Häufigkeit Förderdefizite an, die die Umsetzung diverser Thesen behindern können. Im Gegenzug schätzte der erweiterte Teilnehmerkreis fehlende Wirtschaftlichkeit und Investitionskosten als die höheren Barrieren ein.

Auch im Themenbereich „stoffliche Kohlenstoffnutzung“ konnten ähnliche Ergebnisse beobachtet werden. Die Fachkenntnis wurde in der überwiegenden Mehrzahl mit „gering“ bis „keine“ eingeschätzt. Den Thesen wurde auch im erweiterten Pool nur teilweise zugestimmt und ein Realisierungszeitraum von 2021 bzw. 2031 angegeben. Dabei waren die Experten poolübergreifend sehr unsicher, wie die hohe Häufigkeit der Antwortoption „nicht beantwortet“ beweist. Die Relevanz für Wirtschaft und Technik wurde im erweiterten Pool etwas höher eingeschätzt, während die Teilnehmer im Pool des Ursprungskonsortiums einen höheren Forschungsbedarf feststellten. Forschungsbedarf wurde auch als wichtigste Barriere für den Themenbereich „Technologie“ von beiden Pools eingeschätzt, wobei auch eine fehlende technische Machbarkeit als zusätzliches Hemmnis wirken kann. Häufig wurden hier Realisierungszeiträume ab 2031 genannt.

Ähnliche Aussagen wurden auch für den Themenbereich „Metallurgie“ getroffen, wobei hier nach Meinung der Experten noch „fehlende Wirtschaftlichkeit“ die Umsetzung der vorgeschlagenen Thesen behindern. Im Themenbereich „Rohstoffe und Recycling“ schätzen die Teilnehmer ihre Fachkenntnis durchaus etwas positiver als in den vorherigen Themengebieten ein, obwohl die Teilnehmer des Ursprungskonsortiums etwas kritischer bei der Einschätzung ihrer Fachkenntnis sind. Den Thesen wurde überwiegend ähnlich zugestimmt und auch der Realisierungszeitraum wurde in etwa gleich eingeschätzt. Ähnliches konnte für die Einschätzung der Relevanz und der Barrieren beobachtet werden, wobei im erweiterten Kreis noch „fehlende Wirtschaftlichkeit“ als Hemmnis genannt wurde. Im Allgemeinen zeigen beide Pools relativ große Übereinstimmung bei der Einschätzung der vorgestellten Thesen. Jedoch müssen die Ergebnisse etwas differenziert betrachtet werden. Die Ergebnisse, die im Ursprungskonsortium erzielt wurden, können durchaus als repräsentativ eingeschätzt werden. Im Vergleich zu anderen sozioempirischen Befragungen konnte sowohl die notwendige Mindestanzahl sowie ein akzeptabler Rücklauf von fast 25 % der kontaktierten Firmen/Institutionen erreicht werden. Im erweiterten Pool konnte ebenfalls die notwendige Mindestanzahl übertroffen werden, während der Rücklauf allerdings sehr gering ausfiel. Lediglich 3 % der kontaktierten Firmen/Institutionen haben sich an der Befragung beteiligt. Somit stellt das Ergebnis im erweiterten Pool lediglich eine Aufnahme einer relativ kleinen Stichprobe dar und kann nicht unbedingt als repräsentativ für das gesamte Kollektiv gelten.

6.2.4 Fazit der Delphi-Studie

Im Verlauf der Delphi-Studie konnten verschiedene Ergebnisse zur Einschätzung von Technologien zur „Low Carbon Technology“ von Experten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen gewonnen werden. Daraus können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

Die Experten bewerteten die vorgestellten Thesen, obwohl diese doch unterschiedlichen Themengebieten entstammen, meist ähnlich. Größere Unterschiede treten meist bei Detailbetrachtungen auf. Des Weiteren sind sich die Experten, ob aus dem Ursprungskonsortium oder dem erweiterten Teilnehmerpool stammend, häufig bei den gleichen Thesen unsicher, wie diese in der Zukunft einzuschätzen sind. Aus diesen Einzelergebnissen kann eine zusammenfassende Einschätzung der Gesamtheit der Thesen vorgenommen werden. Dies kann auf zwei Wegen geschehen. Zum einen können die Häufigkeiten der Relevanz der Thesen zueinander in Beziehung gesetzt werden. Die einzelnen Thesen können anhand der Experteneinschätzung in ein Ternärdiagramm eingeordnet werden, in welchem auf den Dreiecksseiten die Relevanz der Thesen für Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft abgebildet wird (s. Abb. 15).

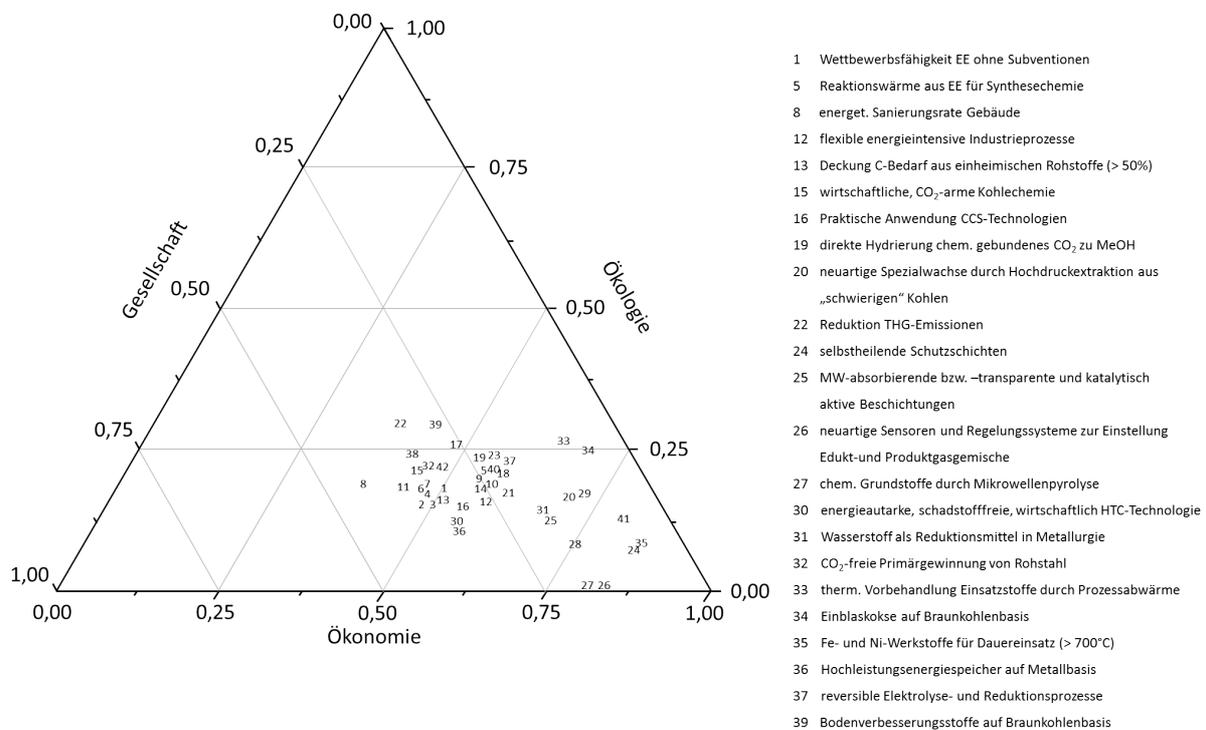


Abbildung 15: Ternärdiagramm zur Einschätzung der Relevanz der Einzelthesen im Spannungsfeld Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft anhand der ersten Runde der Delphi-Studie im Ursprungskonsortium

Sollte eine Gleichgewichtung der Relevanz für eine These vorliegen, so wird die These im Mittelpunkt des Dreiecks zu liegen kommen. Eine Verschiebung zu einer Seite bedingt eine Verlagerung im Dreieck in die entsprechende Richtung. Die These zu den Reduktionen von THG-Emissionen (These 22) kommt dieser Gleichverteilung schon sehr nahe. Diese These besitzt neben der Relevanz für die Ökonomie eine ebenfalls bedeutsame Relevanz für die Ökologie sowie für die Gesellschaft. Auf der anderen Seite werden vereinzelte Thesen mit einer sehr einseitigen Relevanz eingeschätzt. Beispielsweise besitzt die Erzeugung chemischer Grundstoffe durch Mikrowellenpyrolyse (These 27), sowie die Entwicklung neuartiger Sensoren

und Regelungssysteme zur Einstellung von Edukt- und Produktgasgemischen (These 26) laut der Expertenmeinung eine besonders hohe Relevanz für ökonomische Fragestellungen während die anderen Aspekte nur marginal tangiert werden. Für gesellschaftliche Belange wird die energetische Sanierungsrate von Gebäuden als besonders erachtet. Als besonders ökologisch wird die thermische Vorbehandlung von Einsatzstoffen durch Prozessabwärme eingeschätzt. Generell wird der Mehrzahl der Thesen eine vergleichsweise hohe Relevanz bezüglich der Ökonomie eingeräumt. Das kann unter Umständen aber auch an der Formulierung der einzelnen Thesen liegen, die doch mehr Gewicht auf ökonomische Fragestellungen legt.

Auf der anderen Seite kann anhand der Häufigkeiten der Einschätzung zu den Barrieren einer These, die eine Umsetzung behindern, und des Medians der Verteilung des Realisierungszeitraums kann der Entwicklungsstand einer These in Abhängigkeit des Realisierungszeitraums abgeschätzt werden. Abbildung 16 zeigt eine solche Matrix am Beispiel der Ergebnisse der ersten Befragungsrunde im Ursprungskonsortium.

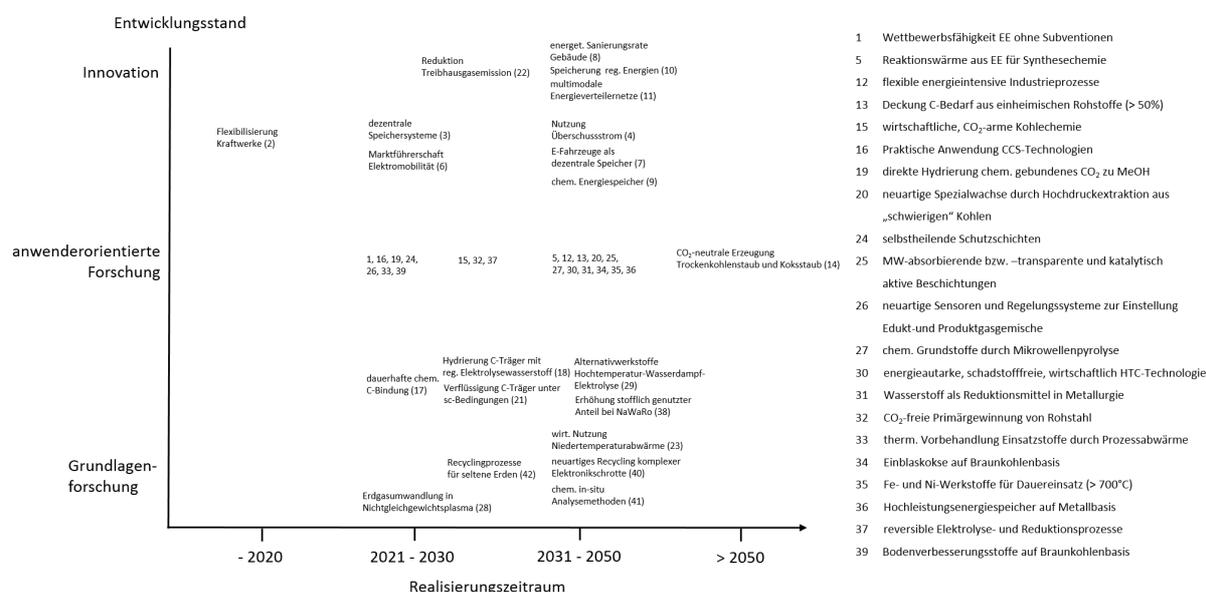


Abbildung 16: Entwicklungsstand der Thesen in Abhängigkeit vom Realisierungszeitraum der ersten Runde der Delphi-Studie im Ursprungskonsortium

Der Entwicklungsstand wurde in drei Kategorien (Grundlagenforschung, anwenderorientierte Forschung und Innovation) eingeordnet. Die Einordnung wurde anhand der Häufigkeit der genannten Barrieren ermittelt. Hohe relative Häufigkeiten für die Barrieren Forschungsdefizit, fehlende technische Machbarkeit und Förderdefizit bei gleichzeitig geringen Häufigkeiten der Barrieren fehlende Wirtschaftlichkeit und Investitionskosten bewirkten eine Einordnung der These zur Grundlagenforschung. Umgekehrte Verhältnisse können als Indiz dafür gewertet werden, dass eine These als Innovation betrachtet wird, für die noch kein Markteintritt durchgeführt wurde. Mittlere auftretende Häufigkeiten bewirkten eine Einordnung der These zur anwenderorientierten Forschung, die den Bereich der Grundlagenforschung schon verlassen hat, jedoch Forschungsbedarf erfordert um den Sprung zur Innovation zu schaffen. Aus diesem Grund ist auch die Mehrzahl der Thesen von den Experten so eingeschätzt wurden. Beispielsweise wurde die Wettbewerbsfähigkeit von erneuerbaren Energie ohne Subventionen so eingeschätzt, dass es durchaus noch Forschungspotential gibt, um den Schritt zur marktfähigen Innovation zu tätigen. Auf der anderen Seite kann beispielsweise die Reduktion von Treibhausgasemissionen (These 22) als möglich betrachtet werden, die jedoch nach Meinung der Experten erst ab 2021 verwirklicht werden wird. Noch später wird die energetische Sanierungsrate von Gebäuden verwirklicht (Zeitraum 2031 – 2050), obwohl dies, nach Meinung der Experten, schon technisch möglich wäre. Demgegenüber stehen Thesen, wie

die Erdgasumwandlung im Nichtgleichgewichtsplasma (These 28) oder chemische In-situ-Analysenmethoden (These 41) die sich aktuell noch im Bereich der Grundlagenforschung befinden, aber durchaus ab 2021 (These 28) bzw. ab 2031 (These 41) verwirklicht werden können. Erst langfristig könnte die CO₂-neutrale Erzeugung von Trockenbraunkohlenstaub verwirklicht werden, obwohl sich die Technologie, nach Einschätzung der Experten, schon in der anwenderorientierten Forschung befindet. Mit dieser Matrix können möglicherweise einzelne Thesen leichter für verschiedene Fördermittelgeber identifiziert werden. Für Grundlagenthemen mit langfristigen Realisierungshorizonten kommen vorwiegend das BMBF und andere grundlagenforschungsorientierte Fördermittelgeber in Betracht. Je weiter man in Richtung Innovation voranschreitet, desto mehr können Wirtschaftsfördermittelgeber und Unternehmen direkt für eine Industrieforschung angesprochen werden. Weiterhin kann anhand dieser Zusammenstellung auch eine Priorisierung der einzelnen Forschungsthemen abgeleitet werden. Die Einordnung der Einzelthesen nach Relevanz und Entwicklungsstand im erweiterten Pool können dem Anhang zum Endbericht entnommen werden.

Die Ergebnisse der Delphi-Studie konnten somit wichtige Informationen über Technologien und Entwicklungen und geben eine maßgebliche Orientierung für die inhaltliche Ausrichtung von diversen Durchführbarkeitsstudien geben. Auf Wunsch der Teilnehmer der Delphi-Studie werden ihnen die Ergebnisse sowie die Einschätzung zur Delphi-Studie in Form einer Präsentation zugänglich gemacht. Dieses Vorgehen ermöglicht einen schnelleren Austausch der Schlussfolgerungen aus der Delphi-Studie an die Teilnehmer und fördert zugleich die Umsetzung möglicher Forschungsprojekte.

6.3 Erstellung von Durchführbarkeitsstudien

Der Schlüssel für die Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels liegt in der Einkopplung erneuerbaren Energien in die Verwertung sekundärer und nachwachsender Rohstoffe. Der Einsatz von Primärrohstoffen wird anteilmäßig zurückgehen, mit einer Verschiebung der Rohstoffbasis hin zu sekundären und nachwachsenden Rohstoffquellen (Rohstoffwende). In diesem Zusammenhang sollen mit dem Durchführbarkeitsstudien ganzheitliche Ansätze zur Neubewertung der Rohstoffbasis im Sinne der Nachhaltigkeit entwickelt werden. Die einzelnen Schritte der gesamten Wertschöpfungskette, von der Gewinnung bis zur Nutzung der Rohstoffe, sollen auf Basis von technisch-ökonomischen, ökologischen und sozialen Bewertungskriterien analysiert und verglichen werden. Gefragt sind ganzheitliche Systembetrachtungen im Sinne von Lebenszyklusanalysen zur realitätsnahen Bewertung der Nachhaltigkeit. Die vergleichende Betrachtung primärer und sekundärer Rohstoffquellen bildet die Grundlagen für die Ableitung von Handlungsoptionen für die Umsetzung der Rohstoffwende. Zudem wurde eine Basis für die Entwicklung eines ganzheitlich orientierten Ansatzes zur Bewertung von LCE-Technologien geschaffen.

Die Erstellung von Durchführbarkeitsstudien erfolgte im Einklang mit der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens (AP14 bis AP17). Die Darstellung der wesentlichen Ergebnisse der Durchführbarkeitsstudien ist in den nachfolgenden Abs. 6.3.1 und 6.3.2 zusammengefasst.

6.3.1 Technologischer Verfahrenvergleich für verschiedene Rohstoffe

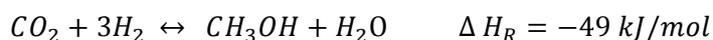
Um den Einsatz unterschiedlicher Kohlenstoffträger für eine stoffliche Nutzung miteinander zu vergleichen, wird im Folgenden eine Fallstudie zur Herstellung von Methanol auf Basis von Braunkohle, Erdgas, Biomasse und CO₂ durchgeführt und die Alternativen anhand ausgewählter Nachhaltigkeitskriterien verglichen. Ziel dieser Betrachtung ist die exemplarische Bereitstellung einer Datenbasis, auf deren Grundlage die Diskussion um die Anwendungsperspektiven verschiedener Rohstoffe versachlicht und Handlungsalternativen aufgezeigt werden können.

Dabei werden Stoff- und Energiebilanzen genutzt, um aufzuzeigen, welcher energetische Aufwand zur Herstellung von Methanol erforderlich ist und mit welchen Emissionen und Stoffumwandlungsverlusten die jeweiligen Konversionsprozesse verbunden sind. Methanol kann über Synthesegaserzeugung aus einer Vielzahl von Kohlenstoffträgern hergestellt werden. Außerdem hat Methanol das Potenzial eine bedeutende Rolle als Ausgangsstoff für Kraftstoffe oder als Energie- bzw. Chemierohstoff einzunehmen. Methanol kann als Energiespeicher für erneuerbare Energie genutzt werden und ist zudem transportabel. Darüber hinaus ist über die Synthesen Methanol to Olefine (MtO), Methanol to Gasoline (MtG) und Methanol to Aromatics (MtA) und über auf Methanol basierenden Basis- und Spezialchemikalien ein großes Spektrum organischer Chemieprodukte zugänglich.

Im Folgenden werden die Prozessschritte zur Herstellung von Methanol aus den Kohlenstoffträgern Erdgas, Braunkohle, Biomasse und CO₂ beschrieben. Es werden die auf den unterschiedlichen Kohlenstoffträgern aufbauenden Prozessketten hinsichtlich ihrer Stoff- und Energiebilanz, der Treibhausgasemissionen, der Rohstoffpreise sowie ihrer Substitutionspotenziale verglichen und bewertet.

Prozessketten zur Herstellung von Methanol

Die Methanolsynthese aus Synthesegas läuft nach folgenden Reaktionen ab:



Die Zusammensetzung des Synthesegases wird durch das Synthesegasmodul S beschrieben und liegt im Bereich von 2,05 bis 2,1. In praktischen Anwendungen wird dabei meist ein CO₂-Gehalt von 2,5 bis 3,5 Vol-% eingestellt, aber auch höhere CO₂-Gehalte sind möglich [5].

$$S = \frac{[H_2] - [CO_2]}{[CO] + [CO_2]}$$

Für die Herstellung von Methanol aus Synthesegas wird ein katalytischer Gasphasenreaktor nach dem Lurgi-Prinzip (s. Abb. 17) angenommen. Dieser besteht aus einem vertikalen Rohrbündelreaktor mit Siedewasserkühlung, der bei einem Druck von 80 bar und einer Temperatur von ca. 250 °C betrieben wird. Durch die Rückführung von nicht umgesetztem Synthesegas werden Umsätze von 95 % erreicht. Ein geringer Abgasstrom wird dabei entnommen, um eine Anreicherung von Spurenstoffen um Kreislaufgas zu verhindern. Das gebildete Methanol wird zweistufig bis zu einer Reinheit von über 99,85 Vol-% gereinigt, wobei in der ersten Stufe leichtsiedende Komponenten als Brenngas und in der zweiten Stufe gebildetes Wasser abgetrennt werden [6].

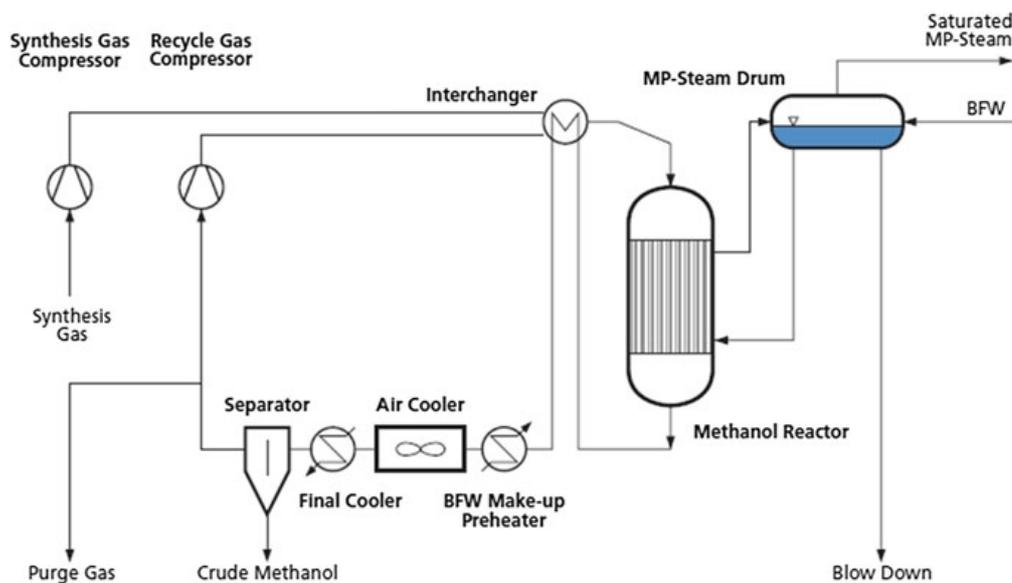


Abbildung 17: Schema des isothermen Lurgi-Prozesses zur Methanolherstellung [6]

Rohstoffbasis – Erdgas

Für die Bewertung der Methanolherstellung aus Erdgas wird repräsentativ ein Mischerdgas der Gruppe H angenommen. Erdgas aus dem deutschen Erdgasnetz enthält keine relevanten Anteile an schwefelhaltigen Komponenten und kann ohne weitere Aufbereitung zur Synthesegaserzeugung eingesetzt werden. Dabei wird die Autotherme Reformierung (auch Autothermreformierung - ATR genannt) angewandt, s. Abb. 18.

Dabei wird das Erdgas mit Sauerstoff gemischt und unterstöchiometrisch zur Bereitstellung der erforderlichen Reaktionswärme verbrannt (Partialoxidation). Das heiße Reaktionsgas durchströmt anschließend eine Katalysatorschüttung im unteren Teil des Reaktors, in dem die endothermen Reformierungsreaktionen ablaufen. Die Zusammensetzung des Synthesegases wird durch die Zugabe von Wasserdampf eingestellt, so dass direkt das gewünschte Synthesegasmodul eingestellt werden kann. Sauerstoff wird über eine Luftzerlegungsanlage bereitgestellt und wird vor dem Eintritt in den Reaktor auf einen Betriebsdruck von ca. 40 bar verdichtet. Neben der Synthesegasverdichtung vor der Methanolsynthese stellt dies den Hauptverbrauch an elektrischem Strom dar. Das Synthesegas verlässt den Reaktor bei einer Temperatur von ca. 1.000 °C und kann zur Gewinnung von Hochdruckdampf in einem Abhitzedampferzeuger genutzt werden [7].

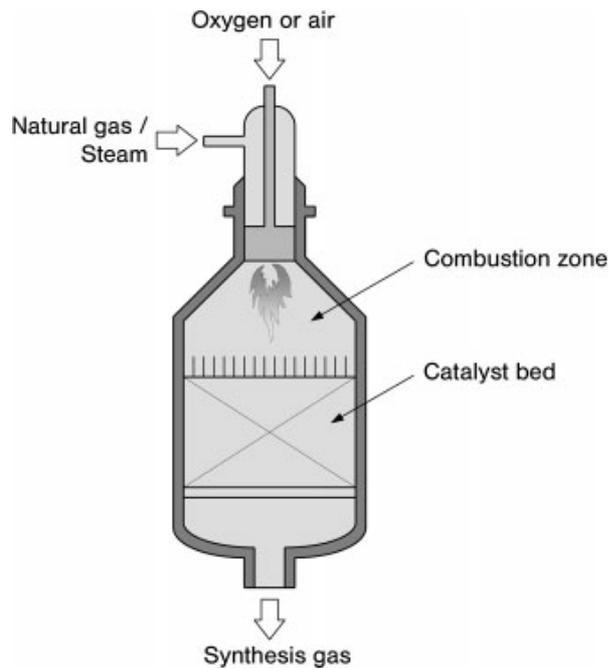


Abbildung 18: Schema eines Autothermreforming-Reaktors [7]

Rohstoffbasis – Braunkohle

Als Einsatzstoff für die Erzeugung von Methanol aus Kohle wird eine mitteldeutsche Braunkohle angenommen. Vor der Vergasung wird die Kohle getrocknet und zerkleinert. Für die Erzeugung des Synthesegases wird ein Flugstromvergaser mit Vollquench nach dem Siemens-Prinzip angenommen, s. Abb. 19.

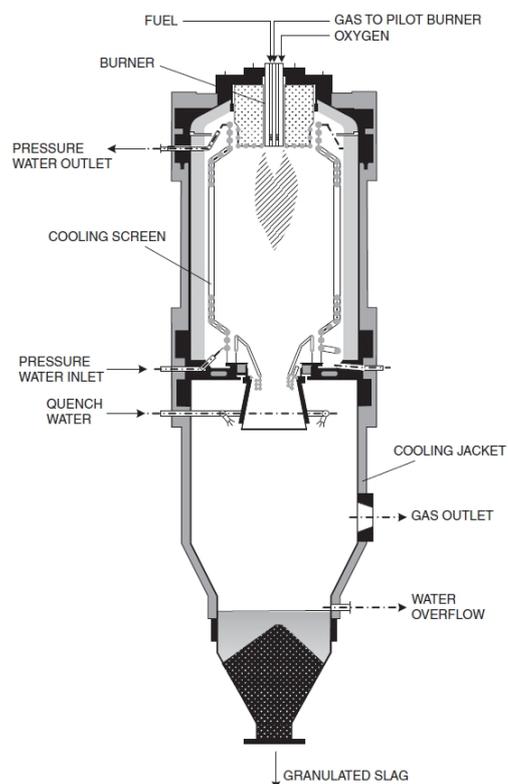


Abbildung 19: Schema des Siemens SFG Vergasers [8]

Dabei wird die Braunkohle im ersten Schritt bei unterstöchiometrischer Sauerstoffzugabe vergast, wobei über 99 % des enthaltenen Kohlenstoffs umgesetzt und die Asche der Kohle vollständig aufgeschmolzen wird. Der erforderliche Sauerstoff aus der Luftzerlegungsanlage wird zuvor auf einen Betriebsdruck von ca. 40 bar verdichtet. Am Ende der Vergasungszone wird eine Gastemperatur von ca. 1.400 °C erreicht. Dabei entsteht ein Vergasungsgas mit einem Synthesegasmodul von $S < 1$. Im unteren Teil des Vergasers wird Wasser in das Vergasungsgas eingedüst und dieses auf eine Temperatur von ca. 200 °C gekühlt (Wasserquench). Dabei erstarrt die geschmolzene Asche zu fester Schlacke, wobei ein Großteil im Quenchwasser gebunden wird. Weiterhin wird das Vergasungsgas mit Wasserdampf gesättigt. Ein Großteil der Wärme geht dabei verloren, eine Abkühlung unter den Ascheschmelzpunkt ist zur Vermeidung von Schlackeablagerungen jedoch unerlässlich. Andere Vergasungstechnologien nutzen einen Teil- oder Gasquench von 800 bis 900 °C und die Restwärme des Gases zur Dampferzeugung. Diese Vorgehensweise erfordert die Zugabe erheblicher Mengen an Hochdruckdampf [8].

Vor der Methanolsynthese durchläuft das Vergasungsgas mehrere Gasreinigungs- und Konditionierungsstufen. Zunächst werden gut wasserlösliche Komponenten z. B. Chloride und Ammoniak sowie verbleibende Staubpartikel in einer Druckwasserwäsche abgetrennt. In der folgenden CO-Konvertierungsstufe wird durch die homogene Wassergasreaktion das erforderliche $H_2:CO$ -Verhältnis eingestellt [5].



Die katalytische Reaktion findet in einem Festbettreaktor statt. Dabei wird CO bis zu einem Gehalt von ca. 3 Vol-% abgetrennt. Das erforderliche $H_2:CO$ -Verhältnis wird über einen Bypass von unkonvertiertem Vergasungsgas eingestellt. Die Abtrennung von sauren Gasbestandteilen z. B. CO_2 und H_2S erfolgt anschließend in einer Sauergaswäsche, die in Form einer Rectisolwäsche dargestellt ist. Dabei handelt es sich um eine Tieftemperaturwäsche (bis zu -50 °C) mit Methanol als Waschmittel. Die Tieftemperaturkälte wird über einen Ammoniakkühlkreislauf bereitgestellt. Durch die Anlagenkonfiguration ist eine selektive Abtrennung möglich. CO_2 fällt in hoher Reinheit von über 99 % an und kann als Chemierohstoff verwendet werden. Der H_2S -reiche Strom wird zur Erzeugung von Schwefel in einem Claus-Prozess genutzt. Während der Abtrennung werden große Mengen an Heizdampf zur Regenerierung des Waschmittels und elektrischem Strom insbesondere für den Kühlkreislauf benötigt. Im Synthesegas wird in der Reinigungsstufe ein CO_2 -Gehalt von ca. 3 Vol-% eingestellt. Anschließend kann das Gas der Methanolsynthese zugeführt werden [5].

Rohstoffbasis – nachwachsende Rohstoffe

Für diese Bewertung der biomassebasierenden Methanolerzeugung wird exemplarisch der Einsatz von Holzpellets angenommen. Die Prozessdaten basieren dabei auf einer Studie zur Bestimmung spezifischer Kosten der Erzeugung von BtL-Kraftstoffen an der TU Freiberg [9]. Die Produktion nachwachsender Rohstoffe unterscheidet sich hinsichtlich der eingesetzten Verfahren deutlich von den Gewinnungsprozessen von Braunkohle und Erdgas. Gegenüber der kontinuierlichen Gewinnung von Braunkohle und Erdgas fallen nachwachsende Rohstoffe i. d. R. saisonal an. Bodenbearbeitung, Bestellung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte sind mit energieintensiven Befahrungen und entsprechender Treibhausgasemission verbunden [10]. Die Energieaufwendungen setzen sich zu einem Großteil aus dem Energiebedarf für die Düngemittelherstellung (rd. 74 %) und dem Kraftstoffeinsatz für die notwendigen Befahrungen (rd. 16 %) zusammen [11,12]. Nach der Ernte erfolgt die Konditionierung nachwachsender Rohstoffe durch Trocknung und Lagerung. Sind für die stoffliche Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe Pellets notwendig, fallen zusätzliche Energieaufwendungen für die Pelletierung an. Diese Aufwendungen belaufen sich je nach Art der nachwachsenden Rohstoffe auf 2-3 % des jeweiligen Heizwertes [9].

Für die Vergasung von Holzpellets eignet sich eine druckaufgeladene Wirbelschichtvergasung (DWS), s. Abb. 20. Die DWS verbindet eine Wirbelschichtvergasung im Oberteil mit einem Festbett zur oxidativen Nachbehandlung im Unterteil. Nach oben ausgetragene Brennstoff- und Aschepartikel werden in einem nachgeschalteten Zyklon abgetrennt und rückgeführt. Im Prozess wird die Ascheerweichungstemperatur nicht erreicht, so dass es nicht zu

einer Verschlackung des Reaktors kommt. Das Rohgas wird anschließend in einem Rohgaskühler unter der Erzeugung von Dampf gekühlt und von einem Kerzenfilter von verbleibendem Staub befreit [9].

Die anschließenden Prozessschritte zur Reinigung, Konditionierung und Umsetzung des Synthesegases entsprechen der Prozesskette zur Herstellung von Methanol aus Kohle (Wasserwäsche, CO-Konvertierung, Rectisolwäsche, Methanolsynthese, Methanolaufbereitung, Abwärmerückgewinnung und Dampfturbine).

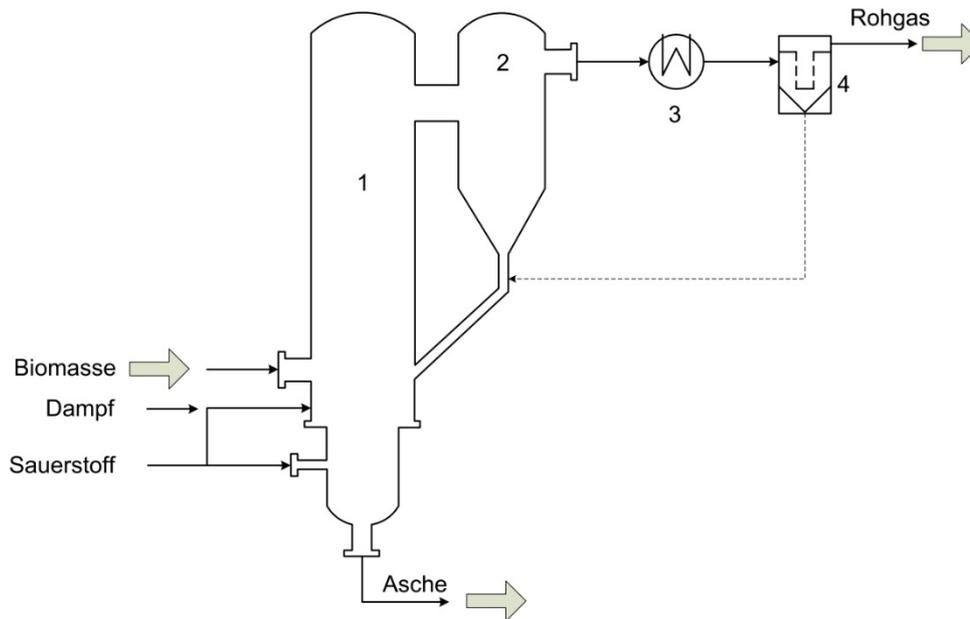


Abbildung 20: Schema der druckaufgeladenen Wirbelschichtvergasung (DWS) [9]

Rohstoffbasis – Kohlenstoffdioxid

Aktuell werden ca. 70 % des industriell hergestellten CO₂ aus der Synthesegasreinigung gewonnen. Andere potenzielle CO₂-Quellen sind z. B. Kohle- und Gaskraftwerke, Müllverbrennungsanlagen, Biogasanlagen, Zementklinkeröfen, Hochöfen und andere Aggregate für energieintensive chemische Prozesse. Die Abtrennung erfolgt meist in physikalischen (z. B. Rectisol-Wäschen) oder chemischen Wäschen (z. B. Aminwäschen). Als wirtschaftlich verwertbare CO₂-Quellen werden Gasgemische mit einem CO₂-Partialdruck über 1 bar angesehen [7]. Der eingesetzte CO₂-Strom entspricht der Qualität aus einer selektiven Rectisol-Wäsche mit einem CO₂-Anteil über 99 % und einem zu vernachlässigendem Gehalt an schwefelhaltigen Komponenten. Eine weitere Aufbereitung ist in diesem Fall nicht nötig. Für die Herstellung von Methanol auf Basis von CO₂ werden signifikante Mengen an Wasserstoff benötigt. Dieser wird durch Elektrolyse von Wasser unter Nutzung von elektrischem Strom bereitgestellt. Dafür wird eine alkalische Elektrolyse mit einem Strombedarf von 53 kWh/kg H₂ angenommen, was einem energetischen Wirkungsgrad von ca. 62 % entspricht [13]. Zur Methanolerzeugung wird der CAMERE-Prozess abgebildet (s. Abb. 21), eine Entwicklung des koreanischen KIST-Institutes, die bisher nur im Technikumsmaßstab erprobt wurde [14]. Dabei handelt es sich um einen zweistufigen Prozess. Im ersten Prozessschritt wird CO₂ mit Wasserstoff über die inverse homogene Wassergasreaktion zu Synthesegas umgesetzt. Das molare Verhältnis von H₂ zu CO₂ wird auf ca. 3:1 eingestellt.

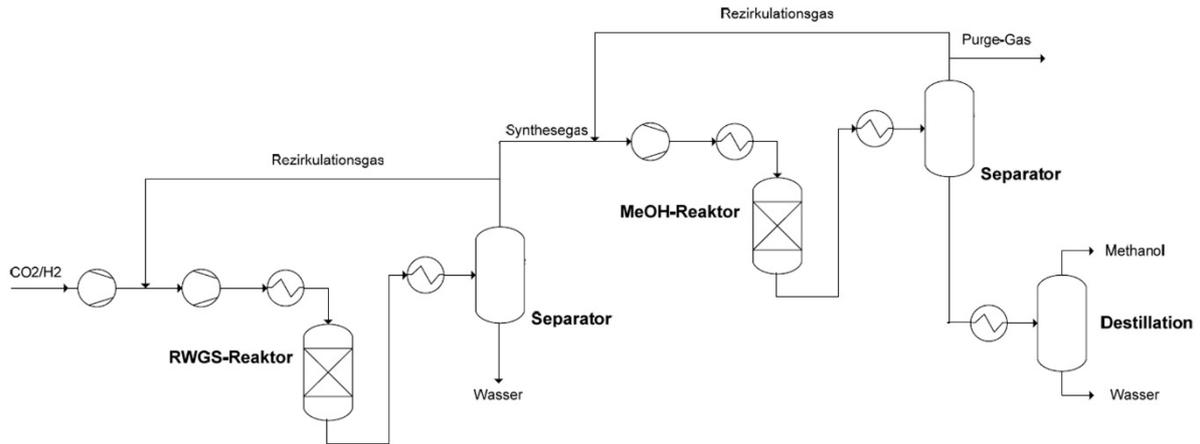


Abbildung 21: Schema des CAMERE-Prozesses nach [14]

Die katalytische Reaktion findet bei 20 bar und einer Temperatur von 800 °C statt. Die erforderliche Prozesswärme wird, neben einer Gasvorwärmung mit dem heißen Produktgas, durch die Verbrennung von brennbaren Abgasen und zusätzlichem Erdgas bereitgestellt. Durch die Rezirkulation von Produktgas kann ein CO₂-Gehalt im Synthesegas von unter 10 % erreicht werden, so dass dieses direkt für die Methanolsynthese eingesetzt werden kann.

Für alle betrachteten Prozesse wird von einer Integration von Prozesswärme bzw. einer Dampferzeugung aus geeigneten Abwärmeströmen bei einem Temperaturniveau über 200 °C ausgegangen. Dazu gehört auch die Rauchgaswärme aus der Verbrennung anfallender Abgase. Überschüssiger Dampf wird über eine Dampfturbine zur Stromerzeugung eingesetzt. Abbildung 22 zeigt eine schematische Übersicht der betrachteten Prozessketten. Grau hinterlegt sind die Prozessschritte der Vorkette zur Bereitstellung der Edukte.

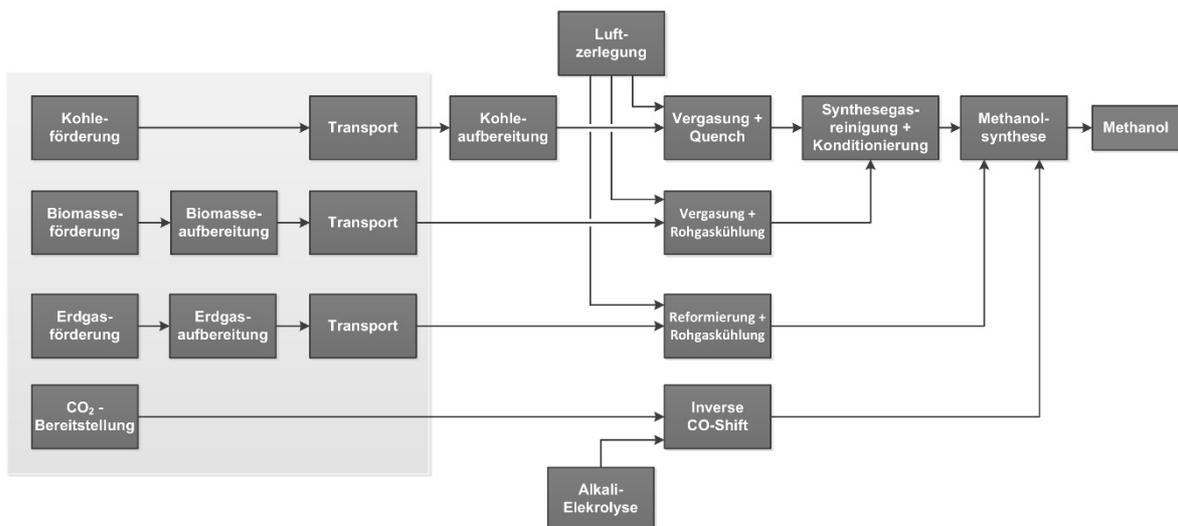


Abbildung 22: Schematische Darstellung der untersuchten Prozessketten inkl. der Vorketten (grau hinterlegt)

6.3.2 Bewertung der Technologierouten

Treibhausgasemissionen

In Abb. 23 sind die Treibhausgasemissionen der Methanolrouten gegenübergestellt. Dabei wird zwischen prozessbedingten spezifischen Emissionen z. B. Synthesegasbereitstellung und Methanolsynthese und denen in der Rohstoffbereitstellung in der Vorkette unterschieden. Neben CO₂ sind besonders Methan und Stickoxide als Treibhausgase relevant.

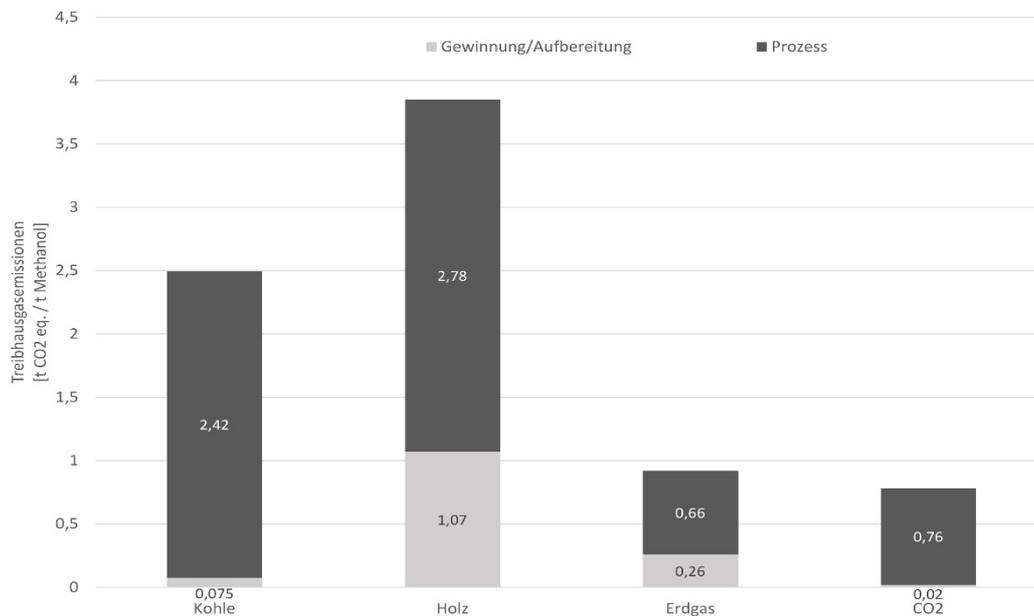


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen

Prozessspezifisch weisen die beiden auf Feststoffvergasung basierenden Prozessketten von Kohle und nachwachsenden Rohstoffen deutlich höhere Emissionen auf, da CO₂ vor der Synthese aus dem Synthesegas abgetrennt werden muss, um den gewünschten Gehalt bei dem für die Synthese erforderlichen H₂:CO-Verhältnis einzustellen. Zusätzlich fallen bei der Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen signifikante CO₂-Mengen an. Die Gewinnung von Braunkohle ist mit geringen THG-Emissionen verbunden. Bei den Erdgas- und CO₂-basierenden Routen kann bei der Synthesegasherstellung direkt die gewünschte Zusammensetzung eingestellt werden, die zur Synthese erforderlich ist. Die Emissionen dieser Routen stammen ausschließlich aus der thermischen Verwertung brennbarer Abgase. Für die Erdgasroute treten zusätzlich signifikante Emissionen bei der Erdgasbereitstellung auf. Die geringen Emissionen der CO₂-Vorkette beruhen auf der Erdgasmenge, die als Zusatzfeuerung für die Reverse-Shift-Reaktion benötigt werden. CO₂ wird als Abfallprodukt der Sauergaswäsche betrachtet und nicht den Emissionen der Vorkette zugeordnet.

Energiebilanz

Die Energiebilanz bezieht sich auf Elektroenergie und die in der Vorkette benötigte chemische Energie eingesetzter Kraftstoffe. Sie setzt sich zusammen aus dem Energiebedarf (Energie-Input) in die Prozesskette und der aus überschüssigem Prozessdampf erzeugten Elektroenergie (Energie-Output). Der Energie-Input ist in Abb. 24 dargestellt.

Es wird ersichtlich, dass der Prozess zur Methanolherstellung aus Erdgas den geringsten Strombedarf aufweist. Aufgrund des hohen Strombedarfs bei der Erdgasförderung und Aufbereitung liegt der spezifische Energiebedarf aber über dem der Braunkohle, bei der

Energiebedarf zur Förderung eine eher untergeordnete Rolle spielt. Bei der CO₂-Nutzung führt der hohe Bedarf an Elektrolysewasserstoff zu einem sehr hohen spezifischen Energiebedarf.



Abbildung 24: Gegenüberstellung des Energiebedarfs

Die erzeugte Elektroenergie ist bei der Erdgasroute am höchsten (s. Abb. 25), da prozessintern nur wenig Heizdampf benötigt wird. Die geringe Stromerzeugung auf der CO₂-Route ist dagegen bedingt durch den hohen Wärmeenergiebedarf des Reverse-Shift-Reaktors. Insgesamt ergibt sich ein ähnlicher Energiebedarf für die Herstellung von Methanol aus Kohle und Erdgas. Die Energiebilanz der CO₂-Route ist aufgrund des hohen effektiven Bedarfs von ca. 40.000 MJ/t Methanol nicht dargestellt.

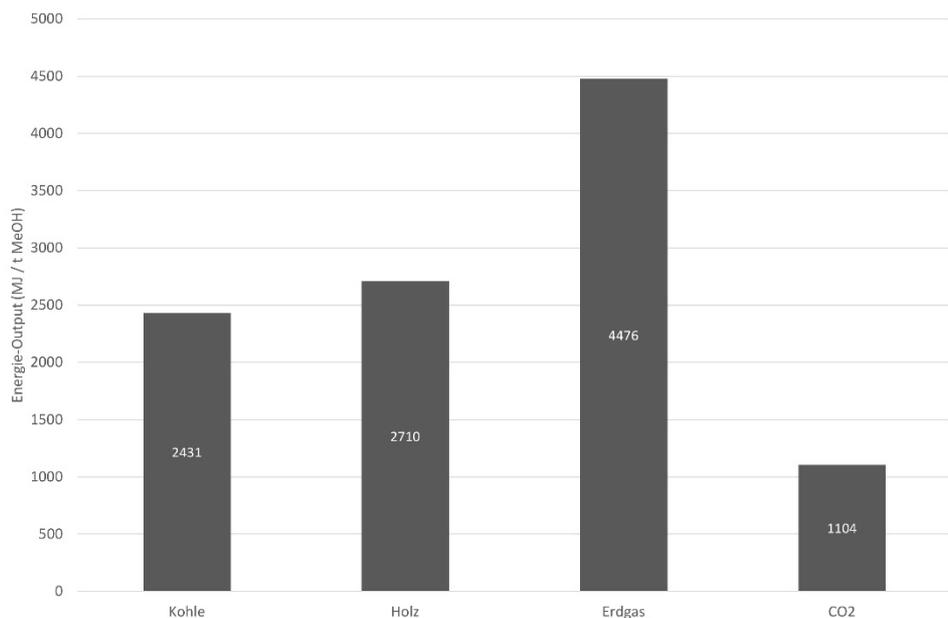


Abbildung 25: Gegenüberstellung der erzeugten Elektroenergie

Ökonomische Betrachtungen

Zur Berechnung der Produktgestehungskosten für Methanol werden Investitionskosten (CAPEX), Betriebskosten (OPEX) und andere über die Zeit der Anlagenerrichtung und des Betriebs anfallende Kosten herangezogen. Die Investitionskosten bestehen größtenteils aus den Kosten der Anlagenkomponenten, die aus dem Preis von Referenzanlagen zeitlich und hinsichtlich der Anlagengröße skaliert werden. Indirekte Kosten wie Grundstücks- und Engineering-Kosten sowie Kosten für die Inbetriebnahme werden ebenfalls berücksichtigt. Die Betriebskosten bestehen aus fixen Betriebskosten wie Personal- und Versicherungskosten und variablen Betriebskosten u. a. für Betriebsmittel und Einsatz- sowie Brennstoffe [5,15].

Die Herstellung von Methanol aus CO₂ wird bei der wirtschaftlichen Bewertung nicht berücksichtigt, da keine belastbaren Informationen für eine Abschätzung der Investitionskosten der Prozesskomponenten vorliegen. Weiterhin führt schon allein der Strombedarf zur Bereitstellung der stöchiometrisch erforderlichen Wasserstoffmengen zu Kosten von 1105 €/t Methanol, weshalb sich unter den gegebenen Rahmenbedingungen keine wirtschaftliche Realisierung darstellen lässt.

Der aktuelle Marktpreis von ca. 300 €/t zur Herstellung von Methanol aus Erdgas kann mit der untersuchten Anlagenkonfiguration nicht dargestellt werden. Gründe dafür sind eine geringe Anlagengröße (ca. 45 t/h für Erdgas und Kohle, ca. 15 t/h für nachwachsende Rohstoffe) und eine fehlende Integration von Anlagenkomponenten wie in größeren und integrierten Industriekomplexen. Die durchgeführte Analyse dient damit lediglich zum Vergleich der untersuchten Konzepte. In Abb. 26 sind wesentliche Aspekte der Entstehung der Produktgestehungskosten gegenübergestellt.

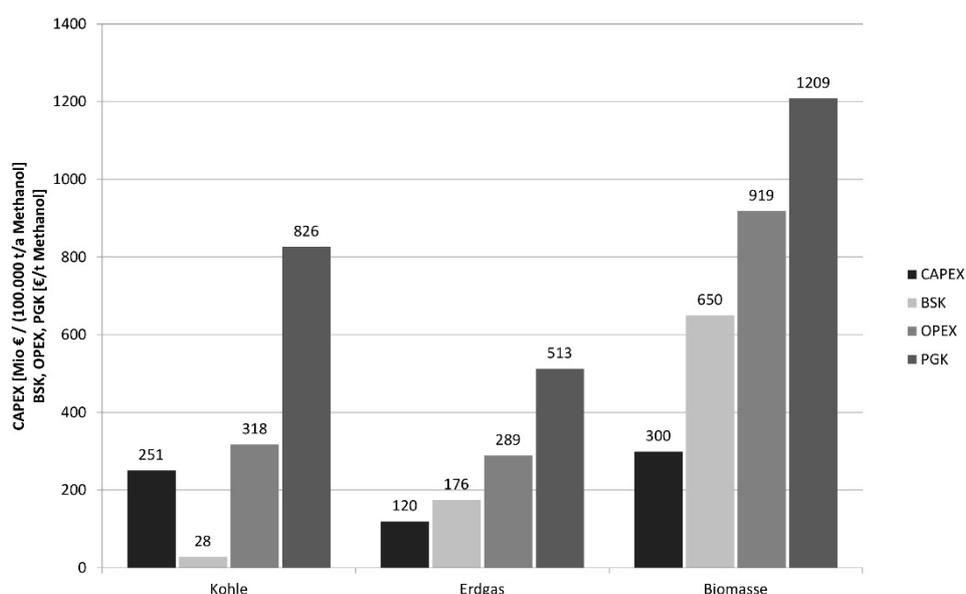


Abbildung 26: Gegenüberstellung der Investitionskosten (CAPEX), Brennstoffkosten (BSK), Betriebskosten (OPEX) und Produktgestehungskosten (PGK)

Die erdgasbasierende Methanolgewinnung benötigt aufgrund ihres einfachen Aufbaus u. a. keine Rohgasentstaubung, CO-Konvertierung oder Sauregaswäsche und weist mit 120 Mio. € pro Anlagenkapazität von 100.000 t Methanol pro Jahr die geringsten spezifischen Investitionskosten auf. Die Verarbeitung von Braunkohle und nachwachsenden Rohstoffen zeigen vergleichbare Investitionskosten aufgrund ihrer ähnlichen Prozessschritte, wobei für Braunkohle die Aufbereitung vor der Verarbeitung berücksichtigt werden muss, während die spezifischen Kosten von nachwachsenden Rohstoffen durch die geringere Anlagenkapazität beeinflusst werden.

Braunkohle zeichnet sich durch einen sehr geringen Brennstoffpreis aus, der kaum Einfluss auf die Preisbildung ausübt. Im Gegensatz dazu schlagen sich beim Rohstoffpreis nachwachsender Rohstoffe, z. B. in Form von Holzpellets, die aufwändige Gewinnung und Aufbereitung nieder. Die Erdgasverarbeitung zeigt trotz deutlicher höherer Brennstoffkosten des importierten und aufbereiteten Erdgases ähnliche Betriebskosten wie die Braunkohlenutzung. Dies ist neben der Anlagenkomplexität (verringertes Bedarf an u. a. Personal, Katalysatoren) durch nahezu fehlende Stromkosten bedingt, da im Erdgasprozess große nutzbare Abwärmemengen anfallen, durch deren Nutzung der Eigenstrombedarf gedeckt und sogar Strom ins Netz abgegeben werden kann. Die Produktgestehungskosten der Erdgasroute sind stark vom Erdgaspreis abhängig (vgl. Abb. 27). Für diese Untersuchung wurde ein Erdgaspreis von 15,86 €/MWh angenommen [16]. Ab einem Erdgaspreis von 39 €/MWh würden die Gestehungskosten des erdgasbasierenden Methanols die des Methanols auf Braunkohlebasis übersteigen und der braunkohlebasierenden Methanolherstellung eine wirtschaftliche Perspektive eröffnen.

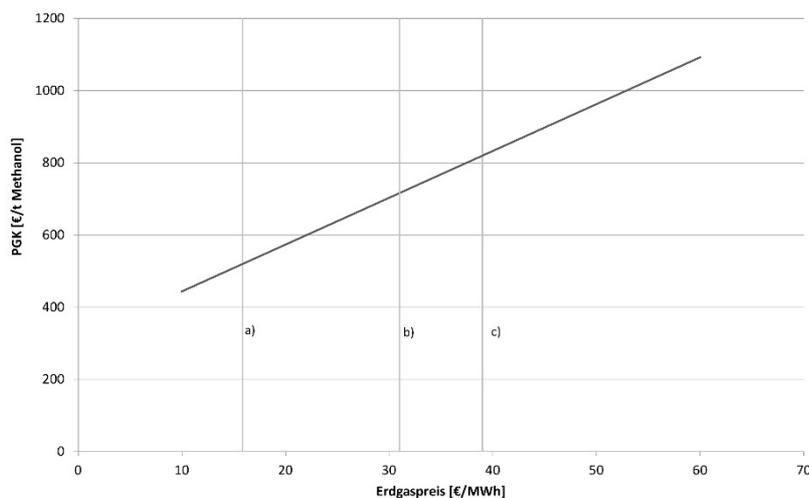


Abbildung 27: Produktgestehungskosten von Methanol in Abhängigkeit des Erdgaspreises: a) in Studie angewandter Erdgaspreis, b) Erdgaspreis für industrielle Abnehmer bis 1 Mio. GJ/a (Stand 1. Halbjahr 2015), c) Grenzpreis zur wirtschaftlichen Nutzung verglichen zur kohlebasierenden Methanolherstellung

Substitutionspotenziale

Die prognostizierten statischen Reichweiten für Erdöl und Erdgas weisen darauf hin, dass deren Verfügbarkeit bereits im Zeitraum von ein bis zwei Generationen deutlichen Einschränkungen unterliegen wird. Dies bedingt zwangsläufig eine schrittweise Verbreiterung der Rohstoffbasis der organischen chemischen Industrie und die Entwicklung von Optionen zur Substitution von Erdöl bzw. Erdgas. Im Rohstoffmix der Kohlenstoffträger hat, mengenmäßig und von der langfristigen Verfügbarkeit her gesehen, ausschließlich die Braunkohle ausreichendes Substitutionspotenzial. Nachwachsende Rohstoffe sind als eine tragende Säule der Energiewende überwiegend in der energetischen Nutzung langfristig gebunden und stehen zudem weder in ausreichenden Mengen noch in den erforderlichen Qualitäten für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung. Die enorm energieintensive stoffliche Nutzung von CO₂ als alternative Kohlenstoffquelle ist Gegenstand intensiver Grundlagenforschung und befindet sich derzeit noch im Labormaßstab. Notwendige Voraussetzungen für die Umsetzung dieser Technologie ist die gegenwärtig nicht unumstrittene Verfügbarkeit großer Mengen an Überschussstrom und CO₂-frei hergestelltem Wasserstoff.

Im Folgenden sollen die theoretischen Substitutionspotenziale von Braunkohle, nachwachsenden Rohstoffen und CO₂ beispielhaft für die Produktion einer Million Tonnen Methanol dargestellt werden.

Im Ergebnis der oben betrachteten Prozessketten könnte die jährliche Methanolproduktion durch 2,7 Mio. t Rohbraunkohle realisiert werden. Diese Menge macht nur rd. 1,5 % der aktuellen Fördermenge von rd. 178 Mio. t Rohbraunkohle [17] aus und wäre sowohl durch eine geringe Erhöhung der Fördermenge als auch durch freiwerdende Rohstoffpotenziale aus dem prognostizierten teilweisen Ausstieg aus der Kohleverstromung problemlos darstellbar.

Wollte man die jährliche Methanolproduktion auf nachwachsende Rohstoffe umstellen, würden zusätzlich rd. 4,5 Mio. t Biomasse benötigt, was rd. 9 % der aktuellen Erntemenge nachwachsender Rohstoffe in Deutschland bzw. 430.000 ha entspricht. Diese Menge müsste zusätzlich zum gegenwärtigen Aufkommen produziert werden, da das gegenwärtige Biomasseaufkommen mittel- bis langfristig bereits an andere energetische bzw. stoffliche Nutzungsformen gebunden ist. Geht man davon aus, dass zukünftig rd. 4 Mio. ha für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland bereitgestellt werden können [18], entspräche dies rd. 27 % der möglichen Flächenerweiterung um 1,5 Mio. ha.

Auch eine Methanolproduktion auf CO₂-Basis ist grundsätzlich als Substitutionsalternative denkbar. Für diese Option ist jedoch ein enormer Energiebedarf in der Größenordnung von 11,43 TWh erforderlich, welcher rd. 30 % der mit 38 TWh prognostizierten Menge an Überschussstrom für 2050 [19] beanspruchen würde.

6.4 Konzepte für wettbewerbsfähige LCE-Technologien

Auf Basis der durchgeführten Studien zur Bewertung zukunftsorientierter Technologien für die Nutzung kohlenstoffhaltiger Rohstoffe wurden gemeinsam mit Partnern des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und der Wirtschaft verschiedene Konzepte für die Entwicklung, Umsetzung und Vermarktung innovativer LCE-Technologien erarbeitet. Die Konzeptentwicklung schließt mehrere Phasen ein und bezieht sich dabei auf folgende Arbeitspakete mit der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens:

- Stand der Technik
 - AP18 Analyse zum Stand der Technik
 - AP19 Charakterisierung von Referenzverfahren/-produkten
 - AP20 Beschreibung des Neuigkeitswertes
- Produkt- und Technologiegestaltung für LCE
 - AP21 Substitution von Energien, Rohstoffen und Technologien
 - AP22 Gestaltungsoptionen zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität
 - AP23 Gestaltungsoptionen zur Erschließung bisher ungenutzter Ressourcen
 - AP24 Darstellung von LCE-Wertschöpfungsketten
- Markt- und Wettbewerbsanalyse
 - AP25 Abschätzung des Marktpotenzials
 - AP26 Bewertung des Marktpotenzials
 - AP27 Bedingungen für den Markteintritt

Die Konzeptentwicklung wurde organisatorisch von der Leitung des IIC-Forums unterstützt. Die Managementaufgaben betreffen dabei die gesamte Innovationskette, von der Ausarbeitung der Initialidee und der Zusammenstellung des Projektkonsortiums bis zur Vorbereitung von Projektanträgen und der praktischen Umsetzung während der Projektförderung. Für die wissenschaftliche Untersetzung war federführend das Institut IEC der TU Bergakademie Freiberg verantwortlich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich das IEC als führende Forschungseinrichtung in Deutschland im Themenbereich der Schließung von Kohlenstoff-Kreisläufen etabliert hat. Das Institut IEC tritt als wissenschaftlicher Kernpartner in mehreren bestehenden Netzwerken auf. Von den IIC-Forumsmitgliedern wurde die entsprechende hervorgehobene Stellung des IEC bei der Entwicklung zukunftsweisender LCE-Konzepte positiv aufgenommen. Das Vertrauen in die führende Rolle des IEC beruht auf der Anerkennung von dessen Leistungen. Denn dank der Vernetzung in Politik, Forschung und Wirtschaft ist das IEC der Ausgangspunkt für die Konzipierung und Umsetzung zahlreicher neuer Verbundprojekte für die Entwicklung und Demonstration innovativer Energie- und Rohstoff-Technologien.

Die Berücksichtigung und Harmonisierung der Interessen der einzelnen Akteure aus der Wissenschaft und Wirtschaft bei der Weiterentwicklung der ursprünglichen Ideen aus dem Initialkonsortium INNOVATION IN CARBON und bei der praktischen Umsetzung neuer Technologieansätze (Beantragung gemeinsamer Verbundvorhaben in bestehenden Förderprogrammen von EU/Bund/Ländern) erfolgte projektbezogen im Rahmen der aufgestellten Projektkonsortien. Für den Schutz des intellektuellen Eigentums und des fachbezogenen spezifischen Know-hows, das die Partner in die gemeinsame Ideenentwicklung eingebracht hatten, sowie für die Regelungen zur Nutzung von IP-Rechten, die eventuell im Rahmen von gemeinsamen Verbundvorhaben generiert werden, wurden gesonderte Kooperationsvereinbarungen abgeschlossen.

Bei der Entwicklung von Konzepten für neue LCE-Technologien kam die Erstellung von Projektsteckbriefen zum Einsatz, die sich als ein geeignetes und wirkungsvolles Werkzeug gezeigt haben. Die verwendete Struktur der Projektsteckbriefe wird im Abs. 6.4.1 erläutert. Die ausgearbeiteten Projektsteckbriefe sind in Anlage 2 zusammengestellt. Im Abs. 6.4.2 wird für einige ausgewählte Technologieansätze die Konzeptentwicklung entsprechend der o.g. Arbeitsschritte exemplarisch dargestellt und erläutert. Die Mehrzahl der gemeinsam im Rahmen des IIC-Forums erarbeiteten Konzepte wurde bis zur Erstellung von

Projektanträgen für öffentliche Fördermittel in bestehenden Förderprogrammen auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene weiterentwickelt. Eine Übersicht über die erstellten und eingereichten Projektanträge sowie die Information zum aktuellen Status der Projekte ist in der Anlage 3 gegeben. Im Abs. 6.4.3 werden außerdem einige der erfolgreichen Verbundvorhaben mit Beteiligung von Mitgliedern des IIC-Forums, für die eine Förderung aus öffentlichen Mitteln bewilligt wurde, näher dargestellt.

Die Aktivitäten zur Konzeptentwicklung des IIC-Forums haben große Unterstützung seitens der Forumsmitglieder gefunden. Der Mehrwert der Strategiebildungsmaßnahmen für die Akteure im IIC-Forum besteht in der Identifizierung von aktuellen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends. Der sich für die Forumsmitglieder ergebende Nutzen aus der Tätigkeit des IIC-Forums manifestiert sich auch durch die starke finanzielle Beteiligung der Wirtschaftspartner an den initiierten Verbundvorhaben. Die Aufteilung der Zuständigkeiten und Kompetenzen bei der Entwicklung der Zukunftsstrategie des IIC-Forums und der Akquise von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Fördermitteln sieht so aus, das seitens der Leitung des IIC-Forums und des Instituts IEC, als wissenschaftlicher Kernpartner im Forum, die dringenden Fragestellungen und Anforderungen an die technologischen Entwicklungen analysiert werden, um auf dieser Basis zukunftsfähige Themen zu generieren. Die Wissenschaftspartner bieten der Wirtschaft Lösungen für aktuelle Probleme an. Im Themenbereich des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON betrifft das u.a. folgende Problemstellungen:

- Erhöhung der Energie-/Materialeffizienz von Hochtemperatur-Konversionsprozessen
- Neue Materialien für Hochtemperaturanwendungen unter schwierigen Einsatzbedingungen
- Einkopplung von erneuerbaren Energien in technologische Prozesse der Metallurgie, chemischen Industrie, Abfallverwertung
- Wirtschaftlich tragfähige Prozesse für die stoffliche Nutzung von CO₂
- Minimierung von Schadstoffemissionen

Als potenzielle Investoren konnten in die Innovationsprozesse sowohl Großunternehmen (ThyssenKrupp, ArcelorMittal, VW, Audi, Shell, RWE, LEAG, BASF, Linde) als auch KMU, insbesondere aus Ostdeutschland, einbezogen werden. Die Finanzierungsmodelle reichen von einer reinen Mitfinanzierung der Projekte (hier treten die Unternehmen als assoziierte Projektpartner auf) bis zur gemeinsamen Technologieentwicklung von der Idee bis zur praktischen Umsetzung.

6.4.1 Struktur der Projektsteckbriefe

Projektsteckbriefe stellen ein wichtiges Werkzeug der Strategieentwicklung des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON dar. Sie geben für den der betrachteten LCE-Technologieansätze Auskunft über:

- Projekttitle und beteiligte Partner
- Stand der Technik mit Referenztechnologien
- Projektziele und Beschreibung des Neuheitswertes
- Strategische Maßnahmen in Form von Aktivitäten und Arbeitspaketen
- Nutzen und Verwertungspotential
- Projektrisiken, Förderbedarf und avisierte Laufzeit
- Notwendige personelle und finanzielle Ressourcen

Für die Projektsteckbriefe wurde eine einheitliche Struktur ausgearbeitet, die schematisch in der Abb. 28 gezeigt wird. Eine Übersicht über alle erstellten Projektsteckbriefe ist in der Tabelle 1 dargestellt. Die Projektsteckbriefe sind in Anlage 2 zusammengefasst.



Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> - z.B. Verkürzung einer Prozesskette Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> - Produkt, Technologie oder Dienstleistung Was ist daran neu? Unterschiede zum Stand der Technik <p>> Arbeitspaket 20 Beschreibung des Neuheitswerts</p>	<ul style="list-style-type: none"> Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> - Partner aus der Wissenschaft Kompetenzen: ... - Partner aus der Wirtschaft Kompetenzen: ... <p>> Beteiligte Projektpartner</p>	<ul style="list-style-type: none"> Partner 1, Verantwortlicher Partner 1, Koordinator Partner 2, Verantwortlicher/Koordinator
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> - beim Konsortialpartner aus der Wirtschaft - Weltweiter Technologiestand, Wettbewerber Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> - Vorarbeiten/vorhandene Ansätze bei den Partnern <p>> Arbeitspaket 18 Analyse zum Stand der Technik</p>	<ul style="list-style-type: none"> Konkurrenzsituation Derzeitige Markt-/Rahmenbedingungen Notwendigkeit der Förderung (z. B. hohes Risiko für die Produkt- bzw. Technologieentwicklung durch die Partner) <p>> Projektrisiken und Förderbedarf</p>	<ul style="list-style-type: none"> Angestrebter Umsetzungszeitraum
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand der Technik (Referenzobjekte) Darstellung neuer Wertschöpfungsketten Variantenvergleich (Kriterienkatalog) Bewertung des Marktpotenzials, Transfermöglichkeiten <p>> Arbeitspaket 19 Charakterisierung von Referenzverfahren/-produkten</p>	<ul style="list-style-type: none"> AP 1: AP 2: AP 3: <p>> Maßnahmen und avisierte Arbeitspakete</p>	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl Mannmonate WMA/TMA Sachkosten, Investitionen und Sonstiges
Nutzen / Lieferobjekte	Nutzen / Lieferobjekte	Finanzplan
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand der Technik (Referenzobjekte) Darstellung neuer Wertschöpfungsketten Variantenvergleich (Kriterienkatalog) Bewertung des Marktpotenzials, Transfermöglichkeiten <p>> Arbeitspaket 19 Charakterisierung von Referenzverfahren/-produkten</p>	<ul style="list-style-type: none"> Was sind die Ergebnisse des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> - z.B. Konzepte für LCE-Technologien - z.B. Konzept für Nachwuchsforschergruppe Vorbereitung von Forschungsanträgen Anwendungsnähe des Vorhabens darstellen <p>> Nutzen und Verwertungspotenzial</p>	<ul style="list-style-type: none"> Projektbudget EUR xxx.000 Eigenbeitrag der Wirtschaft EUR xxx.000
Verwertungsplan		
<ul style="list-style-type: none"> Wer ist für die Verwertung/Markteinführung zuständig? Sicherung von IP-Rechten, Patentstrategie Darstellung der Transferkonzepte und Erfolgsaussichten des Vorhabens <p>> Arbeitspaket 25 und 26 – Marktpotenzial</p>		

Abbildung 28: Inhalt und Aufbau der Projektsteckbriefe

Tabelle 1: Übersicht der Projektsteckbriefe des IIC-Forums

Lfd. Nr.	Kurztitel	Status
1	Abwasserwärmerückgewinnung	Projektskizze
2	Niedertemperaturwärmerückgewinnung mittels ionischer Flüssigkeiten	Projektskizze
3	Verwertung von Produktionsreststoffen	Projektskizze
4	Doppelschicht-Kondensatoren	in Umsetzung
5	Chemische in-situ-Analytik	Projektskizze
6	Betriebsbegleitende Multielementanalyse	in Umsetzung
7	Risikobewertung unbekannter Kohlelagerstätten	in Umsetzung
8	Co-Nutzung von Biomasse	in Umsetzung
9	Direct Power-to-X	Projektskizze
10	Mikrowellenunterstützte CO ₂ -Dampf-Reformierung	Projektskizze
11	Regenerative Ottokraftstoffsynthese	in Umsetzung
12	Strombasierte synthetische Luftfahrtkraftstoffe	in Umsetzung
13	Nachwuchsforschergruppe RECO ₂	Projektskizze
14	Nachwuchsforschergruppe STEEP-CarbonTrans	in Umsetzung

6.4.2 Darstellung ausgewählter Konzepte für LCE-Technologien

In diesem Abschnitt werden einige Beispiele für die Entwicklung von Konzepten für innovative LCE-Technologien dargestellt. Die angegebenen Projektnummern entsprechen der Nummerierung der Projektsteckbriefe in der Tabelle 1.

Abschätzung des energetischen und wirtschaftlichen Potenzials der Wärmerückgewinnung aus kommunalen und bergbaulichen Abwässern in Sachsen (Projektsteckbrief Nr. 1)

Zielsetzung

Die Gewinnung von Wärme aus kommunalen und bergbaulichen Abwässern stellt eine bisher kaum genutzte Option der Energiegewinnung dar. Durch eine konsequente Nutzung von Abwasserwärme kann ein zusätzlicher Beitrag zur Verwirklichung der Energiewende erbracht und gleichzeitig das Spektrum erneuerbarer Energien um eine nahezu kontinuierlich verfügbare und weitgehend unabhängige Energiequelle erweitert werden kann. Das Vorhaben soll der Identifizierung von praxisrelevanten Potenzialen für die Gewinnung von Abwasserwärme und der Bestimmung wirtschaftlicher und ökologischer Rahmenbedingungen unter denen die Nutzung nachhaltig realisierbar sein kann dienen.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Basierend auf dem aktuellen Stand der Technik erscheint die Nutzung der Abwasserwärme durchaus konkurrenzfähig gegenüber konventionellen oder auf regenerativen Konzepten basierenden Energieträgern. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt kam unter Berücksichtigung der positiven Umweltwirkungen bereits 2005 zu dem Schluss, dass die Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Eine Wärmerückgewinnung ist grundsätzlich für alle Stellen des Abwassernetzes (Gebäude, Kanalnetz, Kläranlage) gegeben, wobei für einen wirtschaftlichen Betrieb Mindestabwassermengen, Wärmeangebot, Wärmetransportwege sowie die Interessen von Betreibern und Abnehmern zu berücksichtigen sind.

Während sich die Wärmerückgewinnung im Bereich des Kanalsystems inzwischen in Deutschland teilweise schon etabliert hat, ist der Bereich von Kläranlagen noch weitgehend unerschlossen, obwohl hier die größten Potenziale erwartet werden.

Bisher liegen keine belastbaren Daten zu den wirtschaftlich nutzbaren Potentialen der Abwasserwärme- und -nutzung für den Freistaat Sachsen vor. Mit der Schaffung eines Potentialatlas bietet sich erstmals die Möglichkeit einen umfassenden Überblick über die räumliche Verteilung des Wärmedargebots aus kommunalen Abwässern im Freistaat Sachsen zu erhalten. Ziel ist die Entwicklung von regionalspezifischen Konzeptionen zur Minimierung des Wärmelecks im Abwasserbereich.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

Das beschriebene Konzept der Abwasserwärmerückgewinnung trägt folgendermaßen zur Substitution von Energien bzw. Rohstoffen bei:

- **Ressourcenschonung:** Die Wärmerückgewinnung führt zu Einsparungen beim Primärenergieverbrauch. Da der Wärmemarkt noch zu ca. 70 % auf fossilen Energieträger basiert, könnten durch die Wärmerückgewinnung entsprechende Anteile fossiler Energieträger substituiert werden.
- **Energiekreisläufe schließen:** Die ungenutzte Abwasserwärme stellt ein erhebliches „Wärmeleck“ im Energiekreislauf dar. Die Rückgewinnung der Wärmeenergie kann einen Beitrag zur Schließung regionaler Energiekreisläufe leisten indem sie zu Heizzwecken verwendet wird.
- **Minderung CO₂-Emissionen:** Gegenüber konventionellen Wärmegewinnungsanlagen werden Einsparungen in der Größenordnung von 25 % bis 50 % erwartet. Die heute

verfügbaren technischen Lösungen der Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpen erlauben auf Grund des geringen Energiebedarfes einen nahezu CO₂-neutralen Betrieb. Neben der CO₂-Minderung werden auch die NO_x-Emissionen reduziert. Dies wirkt sich positiv auf die Verminderung des Treibhauseffektes sowie die regionale Smogbildung aus.

- Senkung des Primärenergieverbrauchs: Die Einsparungen im Primärenergieverbrauch können etwa in der gleichen Größenordnung wie die oben dargestellten CO₂-Minderungen liegen. Durch die Abkühlung um 1 °C kann aus einem m³ Abwasser eine Wärmemenge von einer Kilowattstunde gewonnen werden.

Vor dem Hintergrund der eingeleiteten Energiewende und der Maßnahmen zum Klimaschutz geht es nicht nur um den Ausbau etablierter erneuerbarer Energien und der damit verbundenen Einsparung fossiler Energieträger, sondern auch um die Erschließung bisher weitgehend ungenutzter Energiequellen und um das weitere Schließen von Stoff- und Energiekreisläufen. Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser stellt eine solche alternative Energiequelle dar, die insbesondere für den Wärmemarkt, der immer noch zu ca. 70 % auf fossilen Energieträgern basiert, zunehmend an Bedeutung gewinnt. So wurde beispielsweise im 1. Entwurf des Landesentwicklungsprogrammes Thüringen die Abwasserwärme mit erneuerbaren Energien quasi gleichgestellt, so dass die Wärmerückgewinnung aus Abwasser als Teil der erneuerbaren Energien aufgefasst werden kann. Theoretisch könnten zwischen zwei und vier Prozent des deutschen Wärmeenergiebedarfes durch die Nutzung der Abwasserwärme gedeckt werden. Die im Abwasser enthaltene Energiemenge reicht aus, um 5-10 % der Gebäude in Deutschland mit Raumwärme und Warmwasser zu versorgen.

Hervorzuheben ist der dezentrale Ansatz als wichtiger Baustein für die Gestaltung des zukünftigen Energiemarktes, da die Nutzung der Abwasserwärme theoretisch an jeder beliebigen Stelle des Abwassersystems, vom Ort der Entstehung bis nach dem Klärwerk, möglich ist.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Von Anbieterseite wird eingeschätzt, dass bei den heutigen Erdölpreisen die Nutzung der Abwasserwärme bereits wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Das Gesamtpotenzial für Deutschland wird auf 10 Mio. KW (20.000 Anlagen mit je 500 KW) geschätzt, was einem Marktvolumen von 30 Mrd. € entspräche. Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser kann damit sowohl aus ökologischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Trotz technischer Fortschritte bei Wärmetauschern und Wärmepumpen befindet sich die Abwasserwärmegewinnung erst an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit. Verglichen mit den Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien liegt die Abwasserwärmenutzung durchaus bereits im konkurrenzfähigen Bereich. Nach aktuellen Untersuchungen des Forschungsinstitutes für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen liegen die Gestehungskosten bei der Abwasserwärmenutzung zwischen 7 und 11 Cent/kWh. Zum Vergleich: Im dritten Quartal 2013 lagen die Stromgestehungskosten für PV-Anlagen zwischen 7,8 und 14,2 Cent/kWh. Für Onshore Windkraftanlagen können zwischen 4,5 und 10,7 Cent/kWh, für Offshore Windkraftanlagen 11,9 bis 19,4 Cent/kWh angesetzt werden. Für Biogasanlagen liegen die Werte zwischen 13,5 und 21,5 Cent/kWh.

Vor dem Hintergrund dessen, dass mittel- und vor allem langfristig die Preise auf dem Gas- und Ölmarkt wieder drastisch ansteigen werden, erhalten auch bisher eher noch als unwirtschaftlich geltende alternative Energiequellen neue Perspektiven.

Dafür, dass die Wärmerückgewinnung aus kommunalen und bergbaulichen Abwässern dennoch bisher kaum als Energiequelle eine Rolle spielt werden hauptsächlich folgende Gründe angeführt:

- Fehlende Wirtschaftlichkeit
- Fehlendes konkretes Datenmaterial über Potenziale vor Ort
- Rechtliche Aspekte wie Nutzungsrechte, Bewilligungsverfahren
- Fehlende Kenntnisse und Erfahrungen auf der Ebene von Planern und Entscheidungsträgern

- Vorbehalte der Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen
- Notwendige Anfangsinvestitionen
- Zweifel an der Wirksamkeit der Maßnahmen
- Fehlen regionalspezifischer Konzepte zur Nutzung verschiedener regenerativer Energien und Abwärmequellen

Wesentliche Hemmnisse, wie das Fehlen konkreter Daten zu regionalspezifischen Potentialen und daraus abgeleiteten Nutzungskonzepten sollen durch das Vorhaben abgebaut werden. Dies wird als notwendige Voraussetzung dafür gesehen, Unternehmen aus dem Bereich der Abwasserbehandlung und Hersteller von Wärmepumpen für eine verstärkte Abwasserwärmenutzung zu sensibilisieren und zusammenzuführen sowie bestehende Vorbehalte abzubauen. Damit soll die Innovationskraft von KMU durch gemeinsame innovative Technologieentwicklung und Vermarktung gestärkt werden. In enger Zusammenarbeit mit Planern, Anbietern und Nutzern sollen konkrete, bedarfsorientierte Umsetzungsstrategien für die Abwasserwärmenutzung für unterschiedliche Bereiche (Kommunen und Städte, Bergbau) investitionsvorbereitend forciert werden.

Niedertemperaturwärmerückgewinnung mittels ionischer Flüssigkeiten (Projektsteckbrief Nr. 2)

Zielsetzung

In der Industrie werden teilweise entstehende, große Abwärmeströme noch weitgehend ungenutzt an die Umgebung abgegeben, da sie entweder auf einem zu niedrigen Temperaturniveau oder zu einem Zeitpunkt anfallen, zu dem kein Wärmebedarf besteht. Die Projektidee zielt auf die umfassende Untersuchung von innovativen Wärmeträgermedien und die technische Erprobung ihres Einsatzes zur effizienten Rückgewinnung von Wärme ab.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Verschiedene traditionelle Wärmeträgermedien und Wärmetauscher-Materialien finden technische Verwendung, aber eine weitere Steigerung der Energieeffizienz ist nur durch die Entwicklung neuartiger Materialien realisierbar. Ein Beispiel dafür sind ionische Flüssigkeiten, wobei es sich um Salze handelt, in denen die Ionen so gering koordiniert sind, dass diese unterhalb von 100 °C und sogar bei Raumtemperatur oder Minusgraden flüssig bleiben. Wie herkömmliche Salze leiten ionische Flüssigkeiten den elektrischen Strom und sind thermisch stabil. Ihre Eigenschaften wie Schmelzpunkt, Viskosität und Löslichkeit weiterer Stoffe werden durch die zugrundeliegenden organischen Verbindungen und das jeweilige Gegenion bestimmt. Die Zahl der möglichen Anwendungen reiner und gemischter ionischer Flüssigkeiten ist sowohl in der Wissenschaft als auch der Industrie stetig gewachsen, was auf die Vielzahl an möglichen Kombinationen mit einstellbaren chemischen und physikalischen Eigenschaften zurückzuführen ist. Aufgrund der gewünschten maßgeschneiderten Materialeigenschaften sind ionische Flüssigkeiten ein hervorragendes Material für Wärmeträgermedien und erlauben die Anwendung in einem sehr breiten Bereich von winterlichen bis extrem heißen Temperaturen (z. B. für die Gebäudeklimatisierung).

Die charakteristischen Eigenschaften für die technische Anwendung von ionischen Flüssigkeiten als Wärmeträgermedien – der Wärmeübergangskoeffizient oder vergleichbare technische Parameter zum Wärmeübergang – wurden bisher nur für eine sehr geringe Zahl ionischer Flüssigkeiten bestimmt. Daten bezüglich des Wärmeübergangskoeffizienten von Mischungen ionischer Flüssigkeiten sind in der Literatur noch gar nicht vorhanden. Jedoch wurde in ersten Untersuchungen an mittels Nanopartikeln modifizierten ionischen Flüssigkeiten eine Erhöhung des Wärmeübergangs erzielt.

Ionische Flüssigkeiten sind sowohl als gute Lösungsmittel für verschiedene organische und anorganische Substanzen als auch für ihr korrosives Verhalten gegenüber vielen festen Materialien bekannt. Über die Korrosionsneigung gegenüber gebräuchlichen Metallen für Wärmetauscher, vorrangig Kupfer und dessen Legierungen, wird in einer Reihe von Arbeiten berichtet. Eine hinreichende Korrosionsresistenz gegenüber verschiedenen ionischen

Flüssigkeiten wurde für ausgewählte Stähle gefunden. Darüber hinaus hat ein Projektpartner zusammen mit anderen Wissenschaftlern einen speziellen Stahl für Wärmetauscher entwickelt, welcher auch für den direkten Kontakt zur Wärmequelle geeignet ist. Dieser Stahl ist insbesondere auf eine gute Umformbarkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit ausgelegt. Die Korrosionsresistenz gegenüber Stählen ließ sich zudem durch Verringerung des Sauerstoffanteils in der ionischen Flüssigkeit deutlich verbessern. Ebenso zeigte die Aufbringung von korrosionsarmen, metallischen Schutzschichten auf Stahl erste Erfolge.

Konventionelle Verfahren zur Niedertemperaturrückgewinnung funktionieren mittels Thermoölen oder Wasser-Glykol-Mischungen, welche beide eine niedrige Wärmekapazität aufweisen, oder über eine Dampferzeugung, wobei hierfür hohe Temperaturen in der Größenordnung von 500 °C notwendig sind. Thermoöle besitzen Prozesslebensdauern im Rahmen von 3-18 Monaten. Die Kühlung von Schaltschränken erfolgt klassischerweise über passive Systeme, deren Wärmetransportfähigkeit hat jedoch inzwischen die technischen Grenzen erreicht und muss aufgrund steigender Integrationsdichte zukünftig aktiv erbracht werden. Eine Kühlung der Generatoren von Windkraftanlagen wird entweder über eine Ölkühlung oder über Trockenkühlung mittels Gießharzen realisiert, wobei erstere mit einer Brandgefahr einhergeht und letztere bei hohen Außentemperaturen bezüglich der benötigten Kühlleistung problematisch sind.

Die innovative Nutzung von ionischen Flüssigkeiten für die Schmierung der Generatoren in Windkraftanlagen, die gleichzeitig als Kühlmittel dienen, ermöglicht gänzlich neuartige, integrierte Lösungen für beide Aufgaben, die mit einem breiten Marktpotential einhergehen. Ein weiterer Neuheitswert liegt in den verbesserten thermischen Eigenschaften der entwickelten ionischen Flüssigkeiten, welche bisher noch nicht in kommerziellen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

Das Ziel ist die teilweise Substitution von Thermoölen in den vielfältigen Anwendungsbereichen der Wärmerückgewinnung. In der Kühlung von Windkraftanlagen ist sogar eine flächendeckende Substitution der bisher eingesetzten Ölkühlung sowie der Trockenkühlung mittels Gießharzen denkbar. Durch die effektive Wärmerückgewinnung kann in den genannten thermischen Prozessen die Energieeffizienz deutlich erhöht werden. Die neuartige Kühlung von Schaltschränken und Windkraftanlagen dient zudem der Erhöhung des Wirkungs- und Integrationsgrades der Anlagen. Besonderes Potential bieten ionische Flüssigkeiten zudem durch die Möglichkeit der Realisierung eines integrierten Schmier- und Kühlsystems für Generatoren von Windkraftanlagen.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Das Einsparpotential für die Rückgewinnung von Niedertemperwärme wird allein für die deutsche Industrie auf ca. 10 Mrd. Euro/Jahr geschätzt. Das spezifische Marktpotential für die ersten fünf Jahre nach Markteinführung der neuen Technologien wird nach pessimistischen Schätzungen (untere Grenze) mit mindestens 100 Kreislaufverbundsystemen auf Basis ionischer Flüssigkeiten angegeben. In den Folgejahren ist mit einer weiteren, signifikanten Steigerung der Verkaufszahlen zu rechnen.

Das Marktpotential hängt vorrangig vom zeitpunktspezifischen Energiepreis ab. Da die Energiepreise perspektivisch höchstwahrscheinlich wieder steigen werden, wird dieses die Wirtschaftlichkeit einer entsprechenden Wärmerückgewinnung steigern.

Verwertung von Produktionsreststoffen (Projektsteckbrief Nr. 3)

Zielsetzung

Das Konzept befasst sich mit in kleinen bis mittleren Produktionsunternehmen anfallenden Reststoffen (z. B. Holzresten aus der Möbelproduktion), die mittels einer kleintechnischen Vergasungsanlage in Verbindung mit einer standortangepassten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) weiterverwendet und in Form der Bereitstellung von thermischer und elektrischer Energie für die jeweiligen KMU ressourcenschonend verwertet werden sollen. Die dafür zu konzipierende Pyrolyseanlage mit Schneckenreaktor und Gasreinigungseinheit soll als kompakte Annex-Einheit ausgeführt werden und dadurch variabel und dezentral anwendbar sein.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Die Kerntechnologie zur Konversion von Reststoffen wird mit ähnlicher Funktionsweise in Großanlagen bereits erfolgreich eingesetzt. Um eine technische und für KMU wirtschaftliche Lösung zu finden, soll eine vorhandene Technologie so angepasst werden, dass sie auch von kleineren Unternehmen Vorort zur Energiegewinnung genutzt werden kann.

Der Neuheitsgrad des beschriebenen Projektes besteht in der Konzipierung, Umsetzung und praktischen Erprobung einer Kompaktanlage für die Verwertung von Produktionsreststoffen auf Basis kohlenstoffhaltiger Reststoffe z. B. aus der Holzverarbeitenden Industrie. Da bisher am Markt keine kommerziellen Gesamtlösungen für Annex-Konzepte mit Kraft-Wärme-Kopplung existieren und bestehende Großanlagen nur schwer auf geringere Durchsätze für kleinere Unternehmen skalierbar und parametrierbar (also für einzelne Anwendungsbereiche und Einsatzstoffe konfigurierbar) sind, ergibt sich entsprechender Entwicklungsbedarf für ein auf das jeweilige Unternehmen angepasstes, integriertes Gesamtkonzept.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

Das beschriebene Konzept der effizienten Reststoffverwertung in kleinen und mittleren Unternehmen trägt zur Substitution von konventionellen Energien bzw. Rohstoffen und zur Ressourcenproduktivität bei, insbesondere durch:

- den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen (Verwertung anstatt Entsorgung)
- den Ausbau der erneuerbaren Energien aufgrund der Nutzung biogener Reststoffe
- die Senkung des Primärenergieverbrauchs durch Erzeugung regenerativen Stroms
- die damit erreichte Minderung der CO₂-Emissionen innerhalb der Produktionskette
- die Schließung der Produktions- und Energiekreisläufe innerhalb des Unternehmens

Hervorzuheben ist im Besonderen der dezentrale Ansatz des Konzepts, welcher es erlaubt die Verwertung der Produktionsreststoffe Vorort beim jeweiligen Unternehmen vorzunehmen. Das bedeutet, dass die in einem KMU entstehenden Reststoffe nicht erst aufwendig zu einer separaten Verwertungsanlage transportiert werden müssen, sondern Vorort in thermische und elektrische Energie umgewandelt werden können. Bei anzunehmendem annähernd konstantem Reststoffanfall innerhalb der Produktion kann zudem von einer Grundlastfähigen Energiebereitstellung durch die Verwertungsanlage ausgegangen werden, welche nicht mit Fluktuationen behaftet ist und dem Produktionsunternehmen direkt als zusätzliche Strom- und Wärmequelle zur Verfügung steht.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Grundsätzlich wird in der mengenmäßig großen Zielgruppe der kleinen und mittleren Unternehmen von einem erheblichen Bedarf an der hier beschriebenen, individuell anpassbaren Reststoffverwertungsanlage ausgegangen. Um fundierte Aussagen machen zu können, bedarf es allerdings einer Potentialstudie. Allein im Bundesland Sachsen gibt es jedoch ca. 50 Spanplatten-verarbeitende Betriebe, die als potentielle Endnutzer in Frage kommen. Bei einer möglichen Parametrierung auf Holz-Hackschnitzel und andere Reststoffe kann sogar von einer Verdopplung der Interessenten ausgegangen werden.

Um die Verbreitung und Attraktivität einer solchen Reststoffverwertungsanlage zu erhöhen, sollten förderpolitische und rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es kleinen und mittelständischen Unternehmen erlauben, eine solche innovative Anlage zur

Reststoffverwertung zu erwerben und wirtschaftlich betreiben zu können. Folgende Instrumente, die den Markteintritt der Technologie erleichtern, wären vorstellbar:

- Förderung der Entwicklung der beschriebenen Technologie
- Beihilfe zur Erstinvestition mittels geeigneter Förderinstrumente
- Steuerliche Unterstützung einer dezentralen Energieerzeugung und Eigennutzung

Betriebsbegleitende Multielementanalyse (Projektsteckbrief Nr. 6)

Zielsetzung

Bislang kann das Verschmutzungs- und Verschlackungspotential von Kesselkohlen und Kohlemischungen im Konversionsprozess nur mit Hilfe von aufwändigen Verfahren durchgeführt werden, die eine betriebsbegleitende Analytik ausschließen. Die angestrebte Flexibilisierung von z.B. Kraftwerksprozessen erfordert analytische Methoden, die in kürzeren Zeitabständen die Einschätzung der Qualität von Einsatzstoffen, und daraus resultierend die Bewertung der Einsatzstoffe hinsichtlich umwelt-, verwertungs- und deponierungsrelevanten Aspekten notwendig machen. Demnach besteht das Forschungsziel in der Weiterentwicklung einer betriebsbegleitenden Analysenmethode mit der nicht nur Gesamtelementgehalte in Kohlen bestimmt werden können, sondern vielmehr eine schnelle Multielementanalyse im Haupt-, Neben- und Spurenbereich eines Feststoffes mit hoher dynamischer Auflösung und minimalen Probenaufwand ermöglicht wird.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Die bereits bestehende Analytik basiert auf zeitaufwändigen Verfahren die u.a. durch einen hohen präparativen Aufwand gekennzeichnet sind. Aufwändige Probenvorbereitungsschritte wie z. B. Veraschung, Mikrowellenaufschluss und Extraktion führen, neben einem erhöhten Zeitbedarf, zu Verfälschungen und Fehleinschätzungen der Analysenergebnisse. So kommt es beispielsweise zur Unterbestimmung von leichtflüchtigen Elementen bei der Veraschung oder dem Mikrowellenaufschluss, der Gefahr einer Kontamination sowie zu einer hohen Verdünnung des Probenmaterials. Des Weiteren wird durch eine Vielzahl von Präparationsschritten die Probe chemisch verändert. Dieser Umstand wirkt sich besonders auf den Bindungszustand der Elemente einer Probe aus, zumal die Elementspeziation ein wichtiges Maß bei der Beurteilung des Verschmutzungs- bzw. Verschlackungspotentials von Einsatzstoffen darstellt.

Bisher konnten die bereits existierenden Methoden auf die Ermittlung von Gesamtelementgehalten in Kohlen, unabhängig vom Inkohlungsgrad, angewandt werden. Zusätzlich können verschiedene Schwefelspeziationen untersucht werden. Eine derzeit diskutierte Anpassung der Emissionsrichtlinien, beispielsweise die Limitierung von Quecksilber-Emissionen, erfordert eine flexible und betriebsbegleitende Analysenmethode. Dennoch existiert momentan keine praxisreife Methode zur direkten, betriebsbegleitenden Analyse von emissions- und prozessrelevanten Elementgehalten in Kohlen sowie artverwandten Koksen, Sedimenten und Biomasse. Insbesondere die Ermittlung von Sauerstoff-, Chlor- und Quecksilbergehalten sind sehr problematisch, da diese bisher nur mit Hilfe zusätzlicher Messmethoden ermittelt werden können.

Die Analyse von diversen Matrices fester, flüssiger oder gasförmiger Form im Bereich der Umweltanalytik mit optischer Emissionsspektroskopie ist aktuell eine sehr weit verbreitete Methode. Mit Hilfe dieser Methoden können alle Metalle sowie einige Nichtmetalle in Form von Routinemessungen nachgewiesen werden. Dabei erfordern heterogene Matrices von Umweltproben eine zeitaufwändige Probenvorbereitung mit vielen einzelnen Bearbeitungsschritten. Eine Probenaufbereitung unter teilweise harten Reaktionsbedingungen (z.B. Säureaufschlüsse mit HCl/HF oder Königswasseraufschlüsse) trägt immer zur chemischen Veränderung des Probenmaterials bei. Dennoch können mit den etablierten Methoden Fragestellungen der betriebsbegleitenden Prozessanalytik, beispielsweise die Bestimmung von Freisetzungstemperaturen von Elementen und deren Spezies nur unzureichend beantwortet werden.

Die Entwicklung einer betriebsbegleitenden Analytik auf Basis der optischen Emissionsspektroskopie eröffnet völlig neue Möglichkeiten bei der Bewertung von Einsatzstoffen im Kraftwerksprozess. Die Analytik erfordert nur minimalen Aufwand bei der Probenvorbereitung und durch die direkte Messung am Feststoff unterliegt das Probenmaterial keiner chemischen Veränderung. Schnelle und vollautomatisierte Messungen garantieren einen minimalen Arbeits- und Zeitaufwand, so dass eine quasi on-line Messung möglich ist. Zudem werden mit der Analyse von Chlor und Sauerstoff neben der simultanen Bestimmung aller anderer relevanten Elementen mehrere arbeitsaufwändige Methoden ersetzt. Eine direkte Feststoff-Multielementmethode der Haupt-, Neben- und Spurenelementgehalte mit Zusatzinformationen über Freisetungsverhalten und Spezies der Elemente in Kohlen und anderen Einsatzstoffen ist bahnbrechend für die betriebsbegleitende Analytik. So können zeitnah Abschätzungen des Verschmutzungs-/Verschlackungspotentials von Kesselkohlen getätigt und die Verbrennung entsprechend gesteuert werden. Die Kenntnis über vorhandene Spezies und der Freisetzungstemperatur problematischer Elemente ermöglicht eine optimale Mischung verschiedener Einsatzstoffe (Biomasse, angrenzende Sedimente oder verschiedener Kohlen) zu einer Kesselkohle.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

Die betriebsbegleitende Multielementanalytik von verschiedenen Brennstoffen trägt zur Flexibilisierung beispielsweise von Kraftwerksprozessen bei. Aufgrund der schnellen Analytik können verschiedene Verfahren relativ flexibel auf die Variabilität ihrer Einsatzstoffe reagieren, in dem schnell optimale Bedingungen für den Einsatzstoff und den Prozess eingestellt werden können. Des Weiteren können die Einsatzstoffe und die Rückstände schnell unter umwelt-, verwertungs-, und depositionsrelevanten Aspekten untersucht werden und die Verarbeitungs- sowie die Verwertungsprozesse schnell angepasst werden. Ein weitgehend flexibler Verwertungsprozess trägt somit auch zum vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern bei.

Die beschriebene Multielementanalytik kann dazu beitragen, verschiedene Prozesse hinsichtlich des Ressourceneinsatzes zu optimieren und schnell auf variable Einsatzstoffqualitäten zu reagieren. So ist es nicht nur möglich, regenerative Energieträger in bestehende Prozesse einzubinden und vermehrt fossile Energieträger zu substituieren, sondern auch die Ressourceneffizienz unter gleichzeitiger Emissionsreduktion zu erhöhen.

Eine schnelle und betriebsbegleitende Multielementanalytik kann als Werkzeug verstanden werden, um schnell und kostengünstig konventionelle und alternative Verfahren und Prozesse hinsichtlich ihrer Einsatzstoffe und deren umwelt- und deponierungsrelevanten Eigenschaften zu charakterisieren. Die Methode liefert somit Informationen auf deren Basis verfahrensrelevante Entscheidungen getroffen werden können, indem beispielsweise neue Einsatzstoffe erschlossen werden können.

Die beschriebene Methode kann als integraler Bestandteil von neuen LCE-Technologien Informationen zur Flexibilisierung und Optimierung von Technologien liefern, so dass diese den konventionellen Verfahren überlegen sind.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Da sich die betriebsbegleitende Multielementanalytik noch im Laborstadium befindet, gilt es vordergründig nachzuweisen, dass sich die Methode für die beschriebene Aufgabenstellung eignet. Sollte es möglich sein, eine derartige Technologie in einen betrieblichen Prozess einzubinden, so können dann auch Marktpotenziale eingeschätzt und bewertet werden.

Direct Power-to-X (Projektsteckbrief Nr. 9)Zielsetzung

Die chemische Industrie ist in Deutschland für signifikante Anteile des Energieverbrauchs (ca. 8 % der Primärenergie) und der CO₂-Emissionen (ca. 5 %) verantwortlich. Die Integration von Strom aus erneuerbarer Energie bietet neben der Substitution fossiler Energieträger und der Senkung der Treibhausgasemissionen die Möglichkeit, eine Stromsenke darzustellen und damit zu einer Netzentlastung bei gleichzeitig hoher Stromverfügbarkeit beizutragen. Von zentraler Bedeutung bei der Stromeinkopplung sind dabei eine hohe Betriebsflexibilität und geringe Investitionskosten.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Die industrielle Erzeugung von Synthesegas als Zwischenprodukt für die chemische Industrie erfolgt in Deutschland durch Autotherme Reformierung oder Partialoxidation von Erdgas oder Schweröl. In beiden Prozessen wird die erforderliche Prozesswärme durch eine unterstöchiometrische Zugabe von Sauerstoff und damit einer partiellen Oxidation des Brennstoffes erreicht. Dies ist mit einem signifikanten Anteil an CO₂ im Rohsynthesegas verbunden.

Die Einkopplung von erneuerbarer Energie in Prozesse der chemischen Industrie wird hauptsächlich auf Basis der Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff diskutiert. Wasserstoff ist speicherbar und besitzt ein breites Anwendungsspektrum (z.B. als Hydriermittel, Brennstoff, Basischemikalie). Die Wirtschaftlichkeit dieser Konzepte ist aber unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen nicht gegeben, insbesondere auf Grund der hohen Investitionskosten für die zu entwickelnde, großskalige Wasserelektrolyse und die aufwändige Infrastruktur für die H₂-Zwischenspeicherung. Hinzu kommen hohe Kosten für den Verdichtungsaufwand.

Es besteht ein Bedarf an Technologien in der chemischen Industrie zur direkten und flexiblen Einkopplung von fluktuierender elektrischer Energie für eine Erhöhung der Wertschöpfung, Senkung des Ressourcenbedarfs und Verringerung der Treibhausgasemissionen ohne den Zwischenschritt der elektrolytischen Wasserstoffherzeugung.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

In Reaktoren zur Partialoxidation oder Autothermen Reformierung erfolgt eine Zusatzbeheizung durch elektrische Heizstäbe, die in den Reaktionsraum eingehängt und vom Reaktionsgas umströmt werden. Je nach Auslegung kann dies als Prereforming (vor der Zugabe von Sauerstoff) oder Postreforming (nach der Zugabe von Sauerstoff) realisiert werden. Durch die Möglichkeit der Integration der Heizelemente in bestehende Reaktoren ist für die Umsetzung nur ein geringer anlagentechnischer Aufwand erforderlich. Die Anlagenflexibilität ist durch die schnell aufheizbaren Heizelemente und den auch ohne elektrische Zusatzheizung möglichen Anlagenbetrieb gegeben. Durch die elektrische Beheizung wird der Bedarf an Sauerstoff zur Bereitstellung der Reaktionstemperatur gesenkt. Dies führt zu einer Verringerung des CO₂-Gehaltes im Rohsynthesegas und der daraus folgenden Treibhausgasemissionen. Bei starker Zusatzbeheizung ist es weiterhin möglich, CO₂ aus anderen Quellen in den Prozess zuzugeben und in Synthesegas umzusetzen. Dadurch wird neben der stofflichen Nutzung des CO₂ der spezifische Bedarf an Erdgas gesenkt.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Die Technologie ist potentiell für Unternehmen der chemischen Industrie interessant, deren Produktion auf der großindustriellen Herstellung von Synthesegas beruht. Hinsichtlich der Integration in bestehende Anlagen zur Autothermen Reformierung oder Partialoxidation besteht die Möglichkeit der Nachrüstung in den vorhandenen Reaktoren. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung ist die temporäre Verfügbarkeit von günstigem oder kostenfreiem Strom (Überschussstrom), wie es bedingt durch den Ausbau der erneuerbaren Energien in Zukunft wahrscheinlich ist. Unter den derzeitigen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen (noch zu geringe Verfügbarkeit von günstigem Überschussstrom,

geringer Erdgaspreis, geringe Kosten für CO₂-Emissionen) wäre die Nachrüstung in bestehenden oder neuen Synthesegasanlagen voraussichtlich nicht wirtschaftlich darstellbar.

Mikrowellenunterstützte CO₂-Dampf-Reformierung (Projektsteckbrief Nr. 10)

Zielsetzung

Aus den Treibhausgasemissionen der chemischen Industrie (ca. 5 % der deutschen CO₂-Emissionen) und der fluktuierenden Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien sowie einer daraus folgenden Nachfrage nach potenziellen Stromsenken zur Netzentlastung ergibt sich ein Bedarf an innovativen wirtschaftlich tragfähigen Lösungen, um CO₂ unter Nutzung fluktuierender Energieeinspeisung, ohne Elektrolysewasserstoff in Synthesegas umzuwandeln, das anschließend zur Herstellung verschiedener Chemierohstoffe eingesetzt werden kann.

Stand der Technik (AP 18 - 20)

Ein Schwerpunkt aktueller Forschung und Entwicklung ist die Herstellung von C1-Basischemikalien aus CO₂, bei denen die erforderliche Prozessenergie durch regenerativ erzeugten Strom bereitgestellt wird. Derzeit wird besonders intensiv die Methanisierung von CO₂ mit Elektrolyse-Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erforscht und technisch erprobt. Dem wirtschaftlichen Betrieb der großtechnischen Wasserelektrolyse stehen jedoch erhebliche Investitionskosten, großer spezifischer Raumbedarf und eine aufwendige Infrastruktur für die H₂-Zwischenspeicherung entgegen. Weiterhin setzen alle Verfahren zur Umsetzung von CO₂ bei moderaten Reaktionstemperaturen den Einsatz von Katalysatoren voraus. Ein Katalysatormanagement hat periodische Stilllegungen von Anlagen oder Anlagenteilen zur Folge, um den Katalysator auszutauschen und zu regenerieren. Außerdem stellt der Einsatz von Katalysatoren bestimmte Anforderungen an die Reinheit des CO₂, das gegebenenfalls durch eine aufwendige Gasreinigung konditioniert werden muss. Zum Beispiel enthält das in Biogasanlagen anfallende CO₂ eine Reihe von Verunreinigungen, die eine desaktivierende Wirkung auf die Methanisierungskatalysatoren haben.

Neben der CO₂-Nutzung durch Methanisierung mit Elektrolyse-Wasserstoff kommen alternativ Verfahren zur Reformierung von Kohlenwasserstoffen in Betracht, bei denen CO₂ zugegeben und in ein Synthesegas (Hauptbestandteile CO und H₂) überführt werden kann. Dazu gehören Partialoxidation, autotherme Reformierung, Trockenreformierung und Dampfreformierung. Diese Prozesse erfordern die Bereitstellung von Reaktionswärme, die entweder intern durch partielle Oxidation von Methan unter Sauerstoffzugabe oder über eine externe Verbrennung von Kohlenwasserstoffträgern bereitgestellt wird, woraus sich aus Sicht der CO₂-Nutzung unterschiedliche Nachteile ergeben. Bei Sauerstoffzugabe wird prozessintern mehr CO₂ gebildet, was die Einbindungsmöglichkeit von weiterem CO₂ mindert. Bei externer Verbrennung von Erdgas fällt so viel CO₂ an, dass dieser die eingebundene CO₂-Menge übersteigt. Eine effektive CO₂-Nutzung ist somit nicht möglich.

Produkt- und Technologiegestaltung für LCE (AP 21 - 24)

Die Bereitstellung der Reaktionswärme erfolgt im betrachteten Prozess durch den Eintrag von Mikrowellen auf der Basis erneuerbarer Energien. Eine erhöhte Prozesstemperatur von über 1200 °C führt zu hohen Umsätzen von CH₄ und CO₂, ohne einen Katalysator zu verwenden. Die Reaktionswärme wird direkt am Reaktionsort erzeugt, wodurch Aufheizung und Abkühlung von Wärmeübertragerflächen entfallen. Verbunden mit einer hohen Lastwechselfähigkeit der Mikrowelle wird eine flexible Anpassung an ein fluktuierendes Stromangebot sichergestellt. Die Absorption der Mikrowellenstrahlung erfolgt in neuen zellulären Keramikstrukturen, welche von den Reaktionsgasen durchströmt werden, die durch eine hohe Eindringtiefe der Mikrowelle, eine hohe intrinsische Wärmeleitung und einen hohen Wärmeübergang auf das Reaktionsgas auszeichnen und selbst nur eine geringe thermische Trägheit besitzen. Der Wärmeeintrag erfolgt dadurch schneller, gleichmäßiger und unabhängig vom Vorhandensein absorbierender Gase, was einen flexiblen, aber auch gleichmäßigen Leistungseintrag und eine homogene Temperaturverteilung im Reaktionsraum unterstützt.

Die mikrowellenunterstützte CO₂-Dampf-Reformierung verbindet die Vorteile autothermer Hochtemperaturprozesse wie vollständigen Umsatz, geringe Rußbildung, Katalysatorfreiheit und Einsatzstoffflexibilität mit den Vorteilen katalytischer allothermer Prozesse wie hoher CO₂-Einbindung und günstigem H₂:CO-Verhältnis bei flexibler Stromeinkopplung. Die mikrowellenunterstützte CO₂-Dampf-Reformierung ist für die Nutzung minderwertiger Einsatzstoffe wie Biogas, Schwachgas und Erdölbegleitgas geeignet, welche weltweit in erheblichen Mengen anfallen und derzeit zu CO₂ verbrannt werden. Sie erfordert weder regenerativ erzeugten Wasserstoff noch Sauerstoff aus einer Luftzerlegung, was den Aufwand zur Medienbereitstellung und Gasaufbereitung minimiert.

Absenkung des Erdgasverbrauchs: Durch die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien und den effektiven Umsatz von CO₂ kann der Verbrauch von CH₄ im Vergleich zu alternativen Technologien deutlich gesenkt werden. Die mikrowellengestützte CO₂-Dampf-Reformierung senkt den CH₄-Verbrauch um ca. 33 % gegenüber dem Steamreforming und um 50 % gegenüber der Partialoxidation.

Einbindung von industriell anfallendem CO₂: Es ist möglich, ca. 0,9 kg CO₂ pro kg reformiertes Methan in ein hochwertiges Synthesegas (H₂:CO=2) einzubinden. Damit ist es möglich, industriell anfallendes CO₂ unter Nutzung bestehender Infrastrukturen der Synthesegasprozesskette nutzbar zu machen anstatt es zu emittieren.

Markt- und Wettbewerbsanalyse (AP 25 - 27)

Die mikrowellenunterstützte CO₂-Dampf-Reformierung tritt in Konkurrenz mit den konventionellen Verfahren zur Synthesegasbereitstellung. Eine Marktperspektive besteht besonders für dezentrale Anwendungen mit kleinen bis mittleren Produktionskapazitäten, welche die Bereitstellung von Sauerstoff über eine Luftzerlegungsanlage unwirtschaftlich machen. Besonders eine mobile, modulare Anordnung in Einheit mit einer integrierten Produktsynthese (z.B. Methanolsynthese) ist dabei potenziell bedeutsam.

Nutzung von minderwertigen Schwachgasen und Erdölbegleitgasen: Infolge der Verbrennung von Erdölbegleitgasen gelangen weltweit 140 Milliarden Kubikmeter Erdölbegleitgas als CO₂ in die Atmosphäre. Das entspricht etwa 5 % der globalen Erdgasförderung. Durch CO₂-Dampf-Reformierung können diese Ressourcen wirtschaftlich tragfähig genutzt werden.

Effizientere Nutzung von Biogas: Biogas enthält neben Methan bis zu 50 % CO₂. Das biogene CO₂ wird derzeit ungenutzt in die Atmosphäre entlassen und das CH₄ energetisch genutzt und damit in CO₂ umgewandelt. Das Biogas kann durch mikrowellengestützte CO₂-Dampf-Reformierung vollständig stofflich genutzt werden. Es können Schnittstellen zu Bioraffinerien aufgebaut werden.

Bedingungen für einen Markteintritt sind dabei die Verfügbarkeit von günstigem oder kostenfreiem Überschussstrom und hohe Kosten für CO₂-Zertifikate, die eine Vermeidung wirtschaftlich sinnvoll machen.

6.4.3 Darstellung der wichtigsten Verbundvorhaben mit öffentlichen Fördermitteln

Eine der wichtigsten Errungenschaften des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON besteht darin, dass es dank der dargestellten strukturierten Vorgehensweise bei der Strategiebildung gelungen ist, eine Vielzahl von Ideen zu innovativen LCE-Technologien bis zur praktischen Umsetzung zu führen. Für vielversprechende Ansätze, die ein starkes Interesse seitens der Forumsmitglieder aus der Wissenschaft und Wirtschaft gefunden haben, wurden Projektkonsortien aufgestellt und gemeinsame Verbundprojekte vorbereitet, die zur öffentlichen Förderung im Rahmen verschiedener Förderprogramme (EU/Horizon2020, Bund, Länder) eingereicht wurden. Eine Zusammenstellung von Projektanträgen, die mit Unterstützung durch das IIC-Forum ausgearbeitet und zur Förderung außerhalb des BMBF-Programms „Zwanzig20-Partnerschaft für Innovation“ eingereicht wurden, ist in der Anlage 3 dargestellt. Mit Projekten, für die eine Förderung bewilligt wurde, konnten öffentliche und privatwirtschaftliche Fördermittel im zweistelligen Millionen-Bereich eingeworben werden, das jeweilige Fördervolumen ist ebenfalls in der Anlage 3 dargestellt.

In dem vorliegenden Abschnitt werden ausgewählte Verbundvorhaben, die beispielhaft die Erfolgsgeschichte des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON dokumentieren, kurz vorgestellt.

Kopernikus-Projekt P2X (Konsortium OTTO-R)

Im Rahmen von INNOVATION IN CARBON hat sich im September 2015 ein Konsortium aus Vertretern der Automobilindustrie (VW, Audi), Mineralölwirtschaft (Shell, OMV), Anlagenbau (Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH) und angewandter Forschung (TU Bergakademie Freiberg, Argomotive GmbH, TU Braunschweig, HS Coburg) konstituiert, welches sich die Entwicklung eines regenerativen, schadstoffminimierten Ottokraftstoffs ausgehend von Synthesegas zum Ziel gesetzt hat. Diese neue Generation von regenerativen Designer-Ottokraftstoffen soll von der Gewinnung bis zum Einsatz als Kraftstoff höchste Umweltstandards erfüllen und als Partner der Elektromobilität fungieren. Das Konsortium OTTO-R ist am Kopernikus-Projekt „P2X - Erforschung, Validierung und Implementierung von Power-to-X Konzepten“ beteiligt. Dieses Verbundvorhaben unter Federführung des Forschungszentrums Jülich, der RWTH Aachen und der DECHEMA ist eines der vier Kopernikus-Projekte, die im Rahmen des BMBF-Programms „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ gefördert werden. Das OTTO-R Konsortium ist in das Forschungscluster FC-B2 „Modulare und autarke Technologien zur Umsetzung von Synthesegas auf Basis von CO₂ in Kohlenwasserstoffe und langkettige Alkohole“ eingebunden und dort für die Entwicklung und Demonstration neuer Prozesstechnologien zur Umwandlung von CO₂ und H₂ in emissionsarme synthetische Ottokraftstoffe zuständig. Das im Oktober 2016 gestartete Teilvorhaben mit einer Laufzeit von drei Jahren verfügt über ein Projektbudget von 1,4 Mio. EUR, davon werden ca. 35 % von den assoziierten Industriepartnern bereitgestellt. Das IIC-Forum wird das Kopernikus-Projekt P2X wissenschaftlich begleiten und durch Einbindung von bestehendem Know-how der Forumsmitglieder fachlich unterstützen, um damit die Einführung von Power-to-X Technologien insgesamt zu beschleunigen.

Kopernikus-Projekt ENPOOL

Unter Beteiligung des IIC-Forums wurde noch ein weiterer Projektantrag im BMBF-Programm „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ vorbereitet und eingereicht. Das Verbundvorhaben mit dem Titel „ENPOOL – Energiepools im Rahmen eines systemanalytisch konsistenten Energie-Managementsystems“ fokussierte sich auf die Konzipierung und Umsetzung von Energiepools als innovativer Plattform für Low Carbon Produkte und Technologien. Diese als Energiedienstleister für nachhaltige Kohlenstoff-Produkte wie z. B. organische Basischemikalien, regenerative Synthesekraftstoffe, wasserstoffreiche chemische Mega-Energiespeicher für flexible Residuallastabsicherung oder kohlenstoffarme Reduktionsmittel für die Metallurgie fungierenden Energiepools könnten im Dreieck Erneuerbare Energien, konventionelle Erzeuger und Kohlenstoffprodukte in die vorhandenen modernen Energie-, Chemie- und Metallurgie-Infrastrukturen integriert werden. Die angestrebte Kopplung von konventioneller und erneuerbarer Energieerzeugung erfordert jedoch weiterentwickelte Technologien zu thermochemischen Hochtemperaturprozessen, last- und produktflexible

chemische Synthesen und eine neue Form der flexiblen Prozess- und Systemintegration. Das Vorhaben wurde federführend von der BTU Cottbus, dem CeBra-Zentrum für Energietechnologien und Rhein Ruhr Power e.V. geleitet. An der Vorbereitung der Projektskizze war eine Reihe von Mitgliedern des IIC-Forums beteiligt, u.a. die Firmen RWE, MIBRAG, LEAG, Linde, ThyssenKrupp sowie die TU BAF als Vertreter der Wissenschaft. Im Rahmen des BMBF-Programms „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“, bei dem aus über 200 Projektanträgen lediglich vier Konsortien für eine Förderung ausgewählt wurden, gab es keine positive Entscheidung zur Förderung des ENPOOL-Vorhabens. Es soll aber geprüft werden, ob der gewählte Ansatz eventuell im Rahmen kleinerer, industriefinanzierter Vorhaben zur praktischen Umsetzung geführt werden kann.

Kopernikus-Projekt Chemie+

Das IIC-Forum hat noch an einem dritten Projektantrag im BMBF-Programm „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ mitgewirkt. Dieses Verbundvorhaben mit dem Titel „Chemie⁺: Power to Hydrogen for Chemistry, Mobility and Energy“ zeichnet sich dadurch aus, dass es in Zusammenarbeit zwischen dem Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON und dem Zwanzig20-Konsortium HYPOS entstanden ist. Als Konsortialführer des Chemie⁺-Verbundvorhabens traten das Fraunhofer-Institut IMWS, die TU BAF sowie das Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland und die Linde AG auf. Das HYPOS-Konsortium bringt dabei die Kompetenzen im Bereich der strombasierten Wasserstoffherzeugung sowie der Infrastruktur für die Herstellung, Speicherung, Transport und Nutzung von „grünem“ Wasserstoff ein. Das Forum INNOVATION IN CARBON tritt komplementär zu den Aktivitäten des HYPOS-Konsortiums auf und steuert sein Engagement und neue technologische Lösungen zur Einkopplung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff in Stoffwandlungsprozesse, z.B. in der Metallurgie, chemischen Industrie, Abfallverwertung und insbesondere in der Erzeugung von strombasierten synthetischen Kraftstoffen, bei. Damit adressierte das Kopernikus-Projekt Chemie⁺ einen sektorübergreifenden Ansatz zur Entwicklung und Umsetzung wirtschaftlich tragbarer Anwendungen für wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien in zentralem und dezentralem Einsatz. Zwar wurde das Chemie⁺-Vorhaben letztendlich nicht für eine Förderung im Rahmen des Kopernikus-Programms bewilligt. Aber die intensive Kooperation in der Phase der Antragsstellung führte zu einer engeren Vernetzung des IIC-Forums mit dem HYPOS-Konsortium, die nachfolgend zu einer ganzen Reihe von gemeinsamen Kooperationen führte.

HYPOS-Projekt e-KeroSyn

Die eingeschlagene Zusammenarbeit des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON mit dem Zwanzig20-Konsortium HYPOS resultierte u.a. in der erfolgreichen Beantragung eines Verbundvorhabens mit dem Titel „Neue Kerosinsynthese-Technologie auf Basis von CO₂ und e-H₂“. Dieses Vorhaben, an dem Forumsmitglieder des IIC-Forums maßgeblich beteiligt sind, verfügt über ein Projektbudget von 0,4 Mio. EUR und wird mit Mitteln des HYPOS-Konsortiums gefördert. Es wird voraussichtlich im Oktober 2017 starten und hat eine Gesamtlaufzeit von 12 Monaten. Im Rahmen des Vorhabens soll eine ab 2025 marktreife, über einen weiten Bereich skalierbare Technologie zur Erzeugung von spezifikationsgerechtem Kerosin aus CO₂ und H₂ demonstriert werden. Sie beruht auf einer neuen, intensivierten Variante der Fischer-Tropsch-Synthese, die sich durch eine besonders hohe Selektivität der Kerosinbildung auszeichnet. Die Bereitstellung von H₂ soll durch alkalische Mitteltemperatur-Elektrolyse erfolgen. Von der Kombination der neuentwickelten FT-Synthese mit der alkalischen MT-Elektrolyse werden erhebliche Prozess- und Systemvorteile erwartet, die zu einer Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades des kombinierten Prozesses führen und weitere technische und wirtschaftliche Wettbewerbsvorteile gegenüber den etablierten Verfahrensvarianten aufweisen. Die neue Technologie ist für die Nutzung von prozessbedingtem CO₂, z.B. aus der chemischen Industrie, biogenem CO₂, z.B. aus Biogas- oder Bioethanolanlagen oder atmosphärischem CO₂ und soll sowohl im großtechnischen Maßstab als auch im dezentralen Maßstab mit kleineren Anlagenkapazitäten zum Einsatz kommen. Die Piloterprobung der neuen Technologie soll am Chemiestandort Leuna erfolgen, damit ergibt sich eine optimale Integration in die HYPOS-Region. Neben dem erfolgreichen Kopernikus-Projekt P2X stellt das HYPOS-Projekt e-KeroSyn ein hervorragendes Beispiel für die Erfolgsgeschichte des IIC-Forums dar.

6.5 Strategien und Instrumente für den LCE-Technologietransfer

Wie auch bei jeder anderen neuen Technologie, sind gesondert gestaltete Rahmenbedingungen erforderlich, um eine erfolgreiche Überführung innovativer LCE-Technologien vom Labor- und Pilotanlagenmaßstab in die industrielle Praxis zu erreichen. Dabei bedingt die angestrebte intersektorale Wirkung der LCE-Technologien einen ganzheitlichen Ansatz in der Technologie- und Innovationsförderung, der weit über die punktuelle Förderung von Einzeltechnologien hinausgeht. Im Rahmen der Strategieentwicklung des IIC-Forums wurden dazu Analysen vorhandener Konzepte und Instrumente für Technologietransferprozesse durchgeführt (best-practice Beispiele für Schlüsseltechnologien mit vergleichbarer Bedeutung) und Empfehlung zur Gestaltung der politischen, rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen für den Transfer von LCE-Technologien ausgearbeitet. Im Einklang mit der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens wurden dabei folgende Schwerpunkte vertieft betrachtet:

- Darstellung erfolgreicher Konzepte für den Technologietransfer (AP28)
- Analyse der Rahmenbedingungen und Ermittlung von Erfolgskriterien für die Gestaltung des Technologietransfers (AP29)
- Identifizierung geeigneter Steuerungsinstrumente und Anreizsysteme (AP30)
- Entwicklung strategischer Ansätze für den Technologietransfer (AP31)
- Positionsbestimmung und Identifizierung vorhandener Schwachstellen (AP32)
- Ableitung von Handlungsoptionen (AP33)

Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Aktivitäten des IIC-Forums zur Strategiebildung für den zukünftigen LCE-Technologietransfer sind in den Abs. 6.5.1 bis 6.5.6 dargestellt.

6.5.1 Technologischer Verfahrensvergleich für verschiedene Rohstoffe

Für die Überführung neuer Technologien vom Stand der Forschung und Entwicklung zur Markteinführung und -entwicklung haben sich in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand verschiedene Instrumente bewährt. Speziell für den angestrebten Transformationsprozess hin zur Gestaltung einer kohlenstoffarmen Wirtschaft ergeben sich auf nationaler Ebene besondere gesellschaftspolitische Rahmenbedingungen, u. a. aus dem Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG), dem deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), Energie- und Klimaprogrammen sowie Aktionsplänen, wie den Biomasseaktionsplänen zur energetischen und stofflichen Nutzung. Auf EU-Ebene liefert beispielsweise die Roadmap 2050 für kohlenstoffarme Wirtschaft wichtige Orientierungen.

Im Folgenden werden bestehende Transferkonzepte dargestellt, die die Anwendung von LCE-Technologien wirtschaftlich tragfähig und umsetzbar machen sollen und deren Nutzung einen Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung leisten kann.

Technologietransfer kann in ganz unterschiedlicher Art und Weise und von verschiedenen Interessengruppen initiiert bzw. unterstützt werden. Wir beziehen uns in der Darstellung auf die Verbreitung (Transfer) von technischem Wissen (Technologie) mit dem Ziel der praktischen Anwendung im Produktionsprozess. Die Aufgabe besteht darin, wissenschaftlich gewonnene Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in Form von innovativen Produkten und Prozessen in die Praxis zu überführen und dadurch wirtschaftlich nutzbar zu machen.

Forschungsförderung durch öffentliche Zuwendung

Mit diesem Instrument fördern öffentliche Institutionen, auf nationaler Ebene z. B. die Bundes- oder Landesministerien, die Bundesämter oder -anstalten und auf internationaler Ebene z. B. die Europäische Union, die wissenschaftliche Forschung auf zumeist im Vorhinein definierten, wirtschaftlich und politisch relevanten Themengebieten. Mithilfe der i.d.R. befristeten Forschungsprojekte kann direkter Einfluss auf die technologische Entwicklung und bei erfolgreichem Transfer auch des Marktes genommen werden. Im Normalfall werden die Entwicklungsergebnisse durch die anschließende oder begleitende Verbreitung der neuen Erkenntnisse, beispielsweise in Form wissenschaftlicher Veröffentlichungen, bekannt gemacht

und so der Wissens- und Technologietransfer in die Praxis bzw. in den Produktionsprozess hinein gewährleistet.

Das Spektrum reicht von der Finanzierung grundlagenbezogener Forschung bis zur Unterstützung anwendungsnaher Vorhaben. Je nach Orientierung können ausgehend von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen durch Technologietransfer innovative Anwendungen für die Wirtschaft entstehen (technologiegetrieben) oder die Forschung wird aufgrund praktischer Erfordernisse in bestimmten Wissenschaftsbereichen ganz gezielt vorangetrieben (nachfrageinduzierte Forschung und Entwicklung). Für den angestrebten Transformationsprozess hin zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft (LCE) sollten auch bestehende Förderprogramme an dieses strategische Ziel angepasst werden.

Stärken: gezielte (politisch beeinflussbare) Ausrichtung der Forschung, innerhalb eines bereits bewilligten Vorhabens i.d.R. unabhängige Forschung möglich

Schwächen: komplexe und zumeist aufwändige Antragsverfahren mit unsicheren Erfolgsaussichten, i.d.R. themenspezifische Ausschreibungen, kurzzeitige Förderung hemmt den kontinuierlichen Fortschritt

Institutionelle Förderung (Grundfinanzierung)

Diese spezielle Form der Förderung von u. a. außeruniversitären Forschungseinrichtungen erlaubt eine langfristige Forschungsperspektive und schließt ebenfalls von der Grundlagenforschung über die anwendungsnahe Grundlagenforschung bis hin zur angewandten Forschung wichtige Stufen der Technologieentwicklung bis zur konkreten Anwendung ein.

Stärken: bietet Stabilität und Kontinuität für die Forschungsarbeit

Schwächen: begrenzt zur Verfügung stehende finanzielle und personelle Ressourcen

Förderung durch das Europäische Institut für Innovation und Technologie (EIT)

Das Europäische Institut für Innovation und Technologie soll die Zusammenarbeit der leistungsfähigsten europäischen Institute, Universitäten und Forschungszentren stärken, innovative Spitzenforschung ermöglichen und zielt dabei insbesondere auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit Europas.

Die eigentliche Betriebstätigkeit geht von unabhängig voneinander gegründeten Wissens- und Innovationsgemeinschaften (Knowledge and Innovation Communities, KICs) aus, welche als so genannte reale Kumulationspunkte die unmittelbare Zusammenarbeit ihrer Mitglieder koordinieren und das vorhandene Know-how bündeln sollen. Dabei wird großen Wert auf die Integration von Hochschulbildung, Forschung und Produktinnovation gelegt und somit der Technologietransfer von der Idee bis zum wettbewerbsfähigen Produkt unterstützt. Die KICs nehmen themenspezifische Ausschreibungen für Verbundprojekte vor und bringen so Partner aus unterschiedlichen Herkunftsländern und verschiedenen Bereichen beispielsweise aus Hochschulbildung, Forschung oder Innovation zusammen.

Stärken: ergebnis- und anwendungsorientierte Förderung, Netzwerkorientierung

Schwächen: sehr spezifische Themen, bei höheren Fördersummen Mitgliedschaft erforderlich

Forschungsförderung durch Stiftungen

Neben den öffentlichen Trägern der Forschungsförderung gibt es auch Stiftungen, welche die Forschung mit Projektmitteln, Stipendien, Preisen, Stiftungsprofessuren u. ä. fördern. Stiftungen können sowohl durch größere und kleinere Unternehmen als auch durch Privatpersonen finanziert werden und unterscheiden sich dadurch von öffentlichen Geldgebern für Forschungsförderung. Anstelle der Forschungsförderung durch Stiftungen ist es auch möglich, dass einzelne Unternehmen die wissenschaftliche Forschung unterstützen und so direkt zum Technologietransfer aus der Wissenschaft in die Wirtschaft beitragen.

Stärken: ermöglicht unabhängige und zum Teil themenoffene Forschung

Schwächen: Vielfältigkeit erschwert die Übersicht, u. U. von persönlichen Kontakten abhängig

Auftragsforschung für die Industrie bzw. Dritte

Die durch Dritte finanzierte Auftragsforschung lässt sich beispielsweise von der Förderung durch Stiftungen aufgrund ihrer sehr viel stärker ergebnisorientierten Ausrichtung abgrenzen. Das bedeutet, dass bestimmte Problemstellungen im Auftrage von Dritten gelöst werden sollen und der Auftraggeber dadurch ein direktes Interesse am Ergebnis des Projektes hat. Zudem behält sich der Auftraggeber oft auch das Recht der wirtschaftlichen Verwertung der Entwicklungsergebnisse vor, so dass der potentielle Technologietransfer dann ausschließlich dem Auftraggeber zugutekommt.

Stärken: bedarfsgerechte und ergebnisorientierte Forschung, unbürokratisches Verfahren

Schwächen: i.d.R. profitiert nur der Auftraggeber, evtl. Einflussnahme auf die Wissenschaft

Ausgründungen aus Forschungseinrichtungen

Ausgründungen speziell aus Forschungseinrichtungen bieten die Möglichkeit, Forschungs- und Entwicklungsergebnisse extern zu kommerzialisieren und damit direkt den Technologietransfer in die Wirtschaft zu gewährleisten. Der aus der jeweiligen Einrichtung ausgegliederte Teil kann somit eine wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse ohne Umweg über Dritte anstreben. Durch zum Teil öffentlich geförderte Übergangsfinauzierungen kann der Schritt in die wirtschaftliche Selbständigkeit erleichtert werden. Ziel ist in jedem Fall die angestrebte finanzielle Unabhängigkeit und die dauerhafte Schaffung von Arbeitsplätzen durch eine erfolgreiche und langfristige Etablierung der Ausgründung am Markt.

StartUP4Climate ist beispielweise weltweit die erste nationale Gründerinitiative für eine grüne und kohlenstoffarme Wirtschaft. Sie wird durch die nationale Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums gefördert. Durch die Erhöhung der Anzahl innovativer Gründungen sollen die CO₂-Emissionen der deutschen Wirtschaft langfristig um 20 % [20] reduziert werden. In Deutschland liegt der Anteil „grüner“ Gründungen in den Gründer- und Innovationszentren bei rd. 14 % [20].

Stärken: vielfältige Finanzierungsformen, wissenschafts- und gleichzeitig marktorientiert

Schwächen: risikoreich, z. T. langfristige Übergangsfinauzierung notwendig

Personalaustausch in Form von Personalmobilitätsprogrammen

Der Personalaustausch zwischen Forschungs- und Unternehmenspartnern kann durch das gegenseitige Kennenlernen der Arbeits- und Entwicklungsumgebungen zu einem erheblichen Wissens- und Technologietransfer zwischen Wirtschaft und Wissenschaft und umgekehrt führen. Dabei können Forschungseinrichtungen durch eine stärker anwendungs- und ergebnisorientierten Ausrichtung ihrer Forschungstätigkeiten deutlich an Attraktivität und Effektivität gewinnen. Im Gegenzug profitieren Unternehmen durch die Entsendung ihrer Mitarbeiter in die Forschungseinrichtung von wissenschaftlichem Know-how und neuen technologischen Erkenntnissen.

Stärken: sowohl Wissenschaft als auch Wirtschaft können von neuen Einblicken profitieren

Schwächen: Entsendung erfordert zusätzliche Personalressourcen (insbes. für Wirtschaft), Befürchtung von Know-how-Verlust und Abwanderung (insbes. von Wissenschaftlern)

Lizenzierung einer geschützten Erfindung (Patentnutzung)

Ein Patent ist im deutschsprachigen Raum ein zeitlich befristetes Schutzrecht auf eine technische Erfindung. Der Inhaber des Patents (z. B. eine Forschungseinrichtung) kann anderen die Nutzung der Erfindung oder Technologie erlauben (Lizenzierung) und dafür einen finanziellen Ausgleich verlangen. Da mittels Lizenzierung das vorhandene technologische Know-how in die praktische Nutzung und Anwendung hineingetragen wird, kann man auch hier von einer besonderen Form des Technologietransfers sprechen. Der Patentschutz und die Möglichkeit der Lizenzierung erlauben es den Erfindern einen Kostenausgleich und ggf. Profit aus dem entwickelten Patent zu ziehen ohne dass sie selbst die Verwertung der neuen Technologie vorantreiben müssen. Das bedeutet, dass auch weiterhin die Motivation zu ressourcen- und kostenintensiver Forschung erhalten bleibt und zudem der positive Effekt der

Arbeitsteilung zwischen Forschung (i.d.R. durch die Wissenschaft) und Anwendung bzw. praktischer Nutzbarmachung (i.d.R. durch die Wirtschaft) zum Tragen kommt. Mit dem Schutz der Erfindung und der Vergabe exklusiver Nutzungsrechte unterscheidet sich diese Form des Technologietransfers deutlich von beispielsweise öffentlicher Forschungsförderung, welche wie oben beschrieben auf die nichtdiskriminierende Verbreitung neuen Wissens durch die forschenden und geförderten Institutionen setzt.

Stärken: starker Anreiz für anwendungsorientierte Forschung, bei erfolgreicher Lizenzierung finanzieller Ausgleich für investierte personelle und monetäre Ressourcen

Schwächen: Nutzungsrecht steht i.d.R. nur einem eingeschränkten Kreis zu Verfügung, was die Weiterentwicklung einer Technologie im negativen Falle auch behindern kann

Kommunale Wirtschafts- und Innovationsförderung

Durch gezielte Wirtschaftsförderung, insbesondere von innovativen Technologien und deren Umsetzung, kann ebenfalls der Technologietransfer in die Praxis forciert werden. Dabei steht zumeist nicht die Erforschung neuer Technologien, sondern die praktische Anwendung im Vordergrund – mit dem Ziel diese Technologien gewinnbringend in der Praxis einzusetzen und so einen Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung leisten zu können. Gezielt auf produkt- oder produktionsspezifische Innovationen abgestimmte Förderprogramme beispielsweise von Bundes- oder Landesministerien und teilweise in Zusammenarbeit mit industriellen Forschungsvereinigungen unterstützen Unternehmen bei der Einführung neuer Technologien und begünstigen auf diese Art und Weise den Technologietransfer in die Wirtschaft. Schwerpunkt der kommunalen Wirtschaftsförderung bildet die Entwicklung und Verbesserung von Standortfaktoren (Infrastrukturmaßnahmen, Bereitstellung von Gewerbeflächen) zur Erhöhung der regionalen Wirtschaftskraft und für den Erhalt bzw. die Schaffung von Arbeitsplätzen. Hervorzuheben ist auch die positive Imagebildung durch die Vermarktung neuer, nachhaltiger Technologien, wie z. B. „clean-coal- oder low-carbon-Technologien“.

Stärken: Anwendungsorientierung, vergleichsweise hohe Flexibilität bezüglich Strukturwandel, Unterstützung ökonomisch relevanter Vorhaben und Existenzgründungen

Schwächen: i.d.R. nur für mittel- bis kurzfristig marktfähige Technologien anwendbar, begrenzte finanzielle Spielräume

Marktanreizprogramme

Marktanreizprogramme sollen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt den Marktzugang neuer Produkte und Technologien erleichtern. Bewährte Maßnahmen sind z. B. finanzielle Zuschüsse, zinsgünstige Darlehen oder steuerliche Förderungen.

Anwendung finden sie vor allem bei Produkten und Technologien, die zwar von gesamtgesellschaftlicher Bedeutung aber noch nicht wirtschaftlich tragfähig sind, bzw. die erst an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehen. Im Zusammenhang mit dem Erneuerbare Energien Gesetz wurden im energetischen Bereich eine Reihe von Marktanreizprogrammen initiiert. Verwiesen sei an dieser Stelle z. B. auf das Anreizprogramm „Energieeffizienz“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), das die bestehende Förderkulisse zielgerichtet durch Schwerpunkte wie die Brennstoffzellen-Heizung ergänzt [21]. Für Low-Carbon-Technologien existieren im stofflichen Bereich bisher keine derartigen Marktanreizprogramme, was die Überführung in die Praxis erschwert bzw. vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Rohstoffpreise nahezu unmöglich macht. Daher sollte die Option geprüft werden, ob ähnlich wie im energetischen Bereich, auch Marktanreizprogramme für Low-Carbon-Technologien möglich wären.

Stärken: Unterstützung des Marktzugangs bei (noch) fehlender Wirtschaftlichkeit, zielgerichtete Ergänzung der bestehenden Förderlandschaft

Schwächen: starke Abhängigkeit von gesellschaftspolitischen Zielstellungen, Notwendigkeit und zeitliche Dauer der Maßnahmen schwer kalkulierbar

6.5.2 Rahmenbedingungen für die Gestaltung des Technologietransfers

Im Rahmen der Strategiebildung des IIC-Forums wurden systematische Betrachtungen möglicher Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für die Umsetzung wettbewerbsfähiger LCE-Technologien durchgeführt. Unterstützt wurden diese Aktivitäten durch vergleichende Analysen der Technologietransferprozesse im Zusammenhang mit ähnlichen Schlüsseltechnologien in den zurückliegenden Dekaden, z.B. im Bereich der Photovoltaik und Windkraft. Das Hauptziel der durchgeführten Arbeiten bestand darin, Erfolgskriterien abzuleiten, um eine frühzeitige Identifizierung der besonders vielversprechenden Technologieansätze und Prozessrouten zu ermöglichen und dementsprechend unterstützende Maßnahmen für den Technologietransfer zu ergreifen.

Als maßgebliches Hemmnis für die Umsetzung von LCE-Technologien wurde die in den meisten Anwendungsfällen fehlende Wirtschaftlichkeit der neuen Technologien, die sich im Spannungsfeld zwischen Nachhaltigkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit bewegen, festgestellt. Für die Überwindung der ökonomischen Einstiegsbarrieren für die neuen LCE-Technologien bieten sich folgenden Ansätze und konkrete Maßnahmen an:

- Rechtlicher Rahmen bzw. staatliche Unterstützung analog EEG, Ausbau des Handelssystems für CO₂-Zertifikate oder Einführung verbindlicher Grenzwerte, um wirtschaftliche Markteintrittsbarrieren für derzeit noch teurere Alternativen zu verringern und innovative Technologien in die praktische Anwendung zu überführen
- Direkte finanzielle Unterstützung der angewandten Forschung durch öffentliche und privatwirtschaftliche Fördergeber, um technische Innovationen in verkürzten Entwicklungszyklen bis zur Marktreife zu führen
- Besondere Unterstützung für KMU, da diese den vielfach geforderten Eigenanteil oft nicht allein aufbringen können (insb. relevant für Ostdeutschlands, da sich hier die Wirtschaft vielfach auf KMU's anstelle von Konzernen stützt)
- Initiierung und staatliche Unterstützung einer weiterführenden Grundlagenforschung, um bahnbrechende Technologiesprünge überhaupt erst zu ermöglichen

Eine wichtige Voraussetzung für die Überführung der entwickelten LCE-Technologien in den industriellen Maßstab stellt der frühzeitige Nachweis der technischen Realisierbarkeit bzw. Machbarkeit hinsichtlich der Zielerreichung dar, um gezielt den Technologietransfer zu fördern und zu unterstützen. Dies schließt die Betrachtungen folgender Aspekte ein:

- Quantität der prinzipiell verfügbaren regenerativen Energieformen (Nachfrage/Bedarf) zur Bereitstellung von Elektroenergie (Windkraft, Solar etc. und energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe), um die Potenziale für die Substitution der Energieerzeugung aus fossilen Energiequellen sowie zur Einkopplung von erneuerbaren Energien in Stoffwandlungsprozesse (Sektorkopplung) abzuschätzen
- Frage nach der ausreichenden Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe zur Substitution von fossilen Kohlenstoffquellen für die stoffliche Nutzung (-> Lebensmittelkonkurrenz etc.)
- Qualität und Kontinuität der möglichen und (in Zukunft) verfügbaren erneuerbaren Energien bzw. regenerativen Kohlenstoffquellen
- Flexibilisierung der vorhandenen, konventionellen Kraftwerkstechnik zur besseren Vereinbarkeit mit der volatilen Erzeugung erneuerbarer Energien
- Speicherproblematik und Auswege (neue Speicherkonzepte und/oder mögliche Flexibilisierung des Energieverbrauchs)
- Praktische Nutzbarkeit der verfügbaren erneuerbaren Energien
- Möglichkeiten der Erhöhung der stofflichen Nutzung und Verringerung der energetischen Nutzung fossiler Kohlenstoffquellen

Damit die großmaßstäbliche Umsetzung von LCE-Technologien realisiert werden kann, müssen geeignete politische, rechtliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen geschaffen werden. Hier müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Akzeptanz hinsichtlich stofflicher Nutzung fossiler und regenerativer Energierohstoffe (z. B. im Hinblick auf auftretende Mehrkosten, Beeinträchtigungen, Konkurrenz der Anbauflächen, Diskontinuität, Risiko bzw. Unsicherheit, Netzausbau, ...)

- Abstimmung des Zeithorizonts und gezielte Gestaltung des Zusammenspiels zwischen den einzelnen Maßnahmen
- Einbeziehung aktueller Regelungen (Hightech-Strategie der BR, EEG, deutsches Ressourceneffizienzprogramm ProgRes, Energie- und Klimaprogramme sowie Aktionspläne, wie den Biomasseaktionsplänen zur energetischen und stofflichen Nutzung, auf EU-Ebene die Roadmap 2050, ...)

Generell muss berücksichtigt werden, dass die Rohstoffpreise für fossile Energieträger, wie Öl, Gas und Kohle, gegenüber regenerativen Energiequellen aktuell und vermutlich auch kurz- bis mittelfristig zu niedrig sind, um ein Erfolg der LCE-Technologien allein auf Grundlage ökonomischer Einflussfaktoren zu ermöglichen. Dies ist darauf zurück zu führen, dass Nachhaltigkeitsaspekte in der marktdeterminierten Preisbildungsstruktur aktuell keine oder zumindest keine ausreichende Berücksichtigung finden. Daher ist die Umsetzung innovativer LCE-Technologien im Großmaßstab allein auf Grundlage von Marktmechanismen in naher Zukunft problematisch. Auch die bestehenden Ansätze des CO₂-Emissionshandels sind in der aktuell vorliegenden Form wenig wirkungsvoll, um nachhaltig der Erfolg von LCE-Technologien zu garantieren. Daher ist die Ausgestaltung und Etablierung effizienterer Steuerungsinstrumente und Anreizsysteme für den Transfer von innovativen LCE-Technologien von zentraler Bedeutung.

6.5.3 Geeignete Steuerungsinstrumente und Anreizsysteme für LCE-Technologien

Wie bereits festgestellt, ist die mangelnde Wirtschaftlichkeit der LCE-Technologien im aktuellen Marktumfeld eines der größten Hemmnisse für den Transfer dieser ökologisch vorteilhaften Technologien in die industrielle Praxis. Damit sind auch die Finanzierungsmöglichkeiten, z.B. über Wagnis- oder Beteiligungskapital, beschränkt und es bedarf spezieller Anreizsysteme für die Überwindung der Markteintrittsbarrieren für LCE-Technologien. Als Anreiz zur Umsetzung von LCE-Technologien für die Nutzung erneuerbarer Energien z.B. zur Einkopplung in Energie-Stoff-Transformationen können unterschiedliche direkte und indirekte regulative Steuerungsinstrumente verwendet werden. So können Anreizsysteme in Analogie zum EEG entworfen und umgesetzt werden. Denkbar sind auch sowohl positive als auch negative fiskalische Anreize, die auf einer rechtlich verbindlichen Basis implementiert werden. Vorschläge für die Ausgestaltung zukünftiger Fördermechanismen können sinnvollerweise unter Einbeziehung von Wirtschaftspartnern aus dem IIC-Forum erarbeitet werden. Dazu steht das IIC-Forum auch in der Zukunft als Kommunikationsplattform zur Verfügung. Im Vordergrund sollten Anreizsysteme für die überwiegend stoffliche Nutzung von Energierohstoffen, insbesondere unter Einkopplung erneuerbarer Energien, stehen. Eine besondere Bedeutung kommt auch der gezielten Forschungs- und Innovationsförderung zu. Hier sollte der Schwerpunkt auf der Förderung gemeinsamer Verbundprojekte der Wissenschaft und Wirtschaft zum Nachweis der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit von LCE-Technologien im industrienahen Maßstab liegen.

Marktanreizprogramme sollen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt den Marktzugang neuer Produkte und Technologien erleichtern. Als geeignete Maßnahmen kommen z. B. finanzielle Zuschüsse, zinsgünstige Darlehen oder steuerliche Förderungen in Frage. Anwendung finden sie vor allem bei Produkten und Technologien, die zwar von gesamtgesellschaftlicher Bedeutung aber noch nicht wirtschaftlich tragfähig sind, bzw. die erst an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehen. Im Zusammenhang mit dem Erneuerbare Energien Gesetz wurden im energetischen Bereich eine Reihe von Marktanreizprogrammen initiiert, z. B. das Anreizprogramm „Energieeffizienz“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie das die bestehende Förderkulisse zielgerichtet durch weitere thematische Schwerpunkte ergänzt. Für Low-Carbon-Technologien existieren im stofflichen Bereich bisher keine derartigen Marktanreizprogramme, was die Überführung in die Praxis erschwert bzw. vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Rohstoffpreise nahezu unmöglich macht. Daher sollte die Option geprüft werden, ob ähnlich wie im energetischen Bereich, auch Marktanreizprogramme für Low-Carbon-Technologien möglich wären.

6.5.4 Entwicklung strategischer Ansätze für den Technologietransfer

Ein effizienter Technologietransfer bedarf strategischer Ansätze, die auf professionellem Wissensmanagement beruhen. Ein geeignetes Instrument ist die Bildung von strategischen Allianzen, die Forschungseinrichtungen und Unternehmen in einem gemeinsamen Themenfeld zusammenführen. Solche Allianzen bieten gute Möglichkeiten zur Intensivierung der Zusammenarbeit, in die auch KMU's eingebunden werden können. Die Anforderungen an strategische Allianzen sind aber auch relativ vielfältig. Unter anderem ist es erforderlich, nachhaltige Finanzierungsmöglichkeiten zur langfristigen Sicherung der Forschung und Technologieentwicklung zu erschließen. Die Bedeutung der Vermarktung von FuE-Ergebnissen ist dabei als sehr hoch und komplex einzuschätzen. Dazu können konkrete Vermarktungsmaßnahmen konzipiert und umgesetzt werden.

Generell lässt sich der Trend erkennen, dass die Wirtschaft stark an einer Zusammenarbeit mit der angewandten Forschung zur Entwicklung und Erprobung innovativer Zukunftstechnologien interessiert ist. Wissenschaftliche Erkenntnisse, spezielles Know-how und Fachkompetenzen, die in erfolgreich agierenden Forschungszentren generiert werden, können einen signifikanten Beitrag zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen leisten. In diesem Kontext wächst die Bedeutung des Wissenschaftsmarketings. Damit ist die Vermarktung von Forschungskompetenzen, -kapazitäten und -ergebnissen an direkte Drittmittelgeber sowie an die Öffentlichkeit und die Politik gemeint. Zu den Drittmittelgebern gehören beispielsweise Wirtschaftsunternehmen oder auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weitere mögliche Unterstützer können andere Hochschulen und außerhochschulische Forschungseinrichtungen sein.

Vermarktungsmaßnahmen

Effektives Wissenschaftsmarketing erhöht die Sichtbarkeit von Forschungskompetenz und -leistung eines Forschungsanbieters und verstärkt generell das Bewusstsein dafür, dass eine Organisation und ihr Forschungspersonal nennenswerte Leistungen in einem bestimmten Feld erbringen. So lassen sich die Erfolgsaussichten für Drittmittelwerbungen und Forschungsaufträge verbessern. Darüber hinaus kann Marketing auch für die Forschung dazu beitragen, qualifiziertes Forschungspersonal und die besten Promotionsstudenten anzulocken, die ihrerseits das Profil und die Produktivität des Forschungsverbands steigern. Eine verbesserte Außendarstellung der eigenen Forschungsleistung und -kompetenz erhöht außerdem die wissenschaftliche Reputation. Infolgedessen können sich Gelegenheiten ergeben, zu Lösungen gesellschaftlicher Probleme sowie zur wirtschaftlichen Anwendung neuer Konzepte beizutragen. Dieser gesamtgesellschaftliche Beitrag stellt den Wert einer bestimmten Forschungskooperation und damit den Nutzen ihrer weiterführenden Finanzierung heraus. Innerhalb der Strategie einer Forschungskooperation bildet die Entwicklung effektiver Vermarktungsmethoden deshalb einen essentiellen Baustein. Nur so kann in Zeiten öffentlicher Mittelverknappung bzw. Konkurrenz um Forschungsgelder eine langfristige, nachhaltige Finanzierung sichergestellt werden.

Die Vermarktung der Ergebnisse einer Forschungskooperation oder Technologieentwicklung kann die Sichtbarkeit und den Bekanntheitsgrad dieser Vorhaben auf einem bestimmten Gebiet erhöhen und dadurch deren wissenschaftliche Reputation steigern. Nicht nur Forschungsergebnisse mit direkten und indirekten Auswirkungen haben einen Vermarktungswert. Auch Vermarktung der Kapazitäten und Ressourcen über die eine Organisation verfügt, u. a. zur Verfügung stehende Technologien und innovative Ausrüstung, können potenzielle Drittmittelgeber und Forschungspartner auf Vorhaben aufmerksam machen. Abwägungen dazu, was vermarktet werden soll, stellen daher einen wichtigen Schritt in der Entwicklung einer erfolgreichen Vermarktungsstrategie dar. Mit der Identifikation, welche Botschaften eine Forschungskooperation senden möchte, kann eine gezielte Aufbereitung der Botschaften an verschiedene Zielgruppen unterstützt werden, um die Vermarktungswirkung zu optimieren

Zielgruppen und Akteure der Wissensvermarktung

Eine Forschungskoooperation oder Technologieentwicklung hat verschiedene Anspruchsgruppen. Das Erkennen von Anspruchsgruppen ist ein wichtiger Schritt, um die Zielgruppe für eine erfolgreiche Vermarktung der Leistungen der Forschung und Entwicklung zu identifizieren. Aufgrund begrenzter Ressourcen und Zeit ist es unmöglich, allen Anspruchsgruppen die gleiche Aufmerksamkeit zu schenken und diese als Zielgruppen zu adressieren. Daher ist es notwendig, die wichtigsten Anspruchsgruppen eines Forschungsvorhabens zu identifizieren, um anschließend gezielte Vermarktungsmaßnahmen für bestimmte Zielgruppen zu entwickeln. Direkte Drittmittelgeber (z. B. Wirtschaftsunternehmen oder auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und das Bundesministerium für Forschung und Bildung) stellen für Forschungsmanager als wichtige primäre Anspruchsgruppe die bedeutendste Zielgruppe dar. Über primäre Anspruchsgruppen hinaus gibt es weitere, sekundäre Anspruchsgruppen, die nicht direkt mit den Aktivitäten einer Forschungskoooperation verbunden sind, aber trotzdem einen Einfluss auf die Forschung und deren zukünftige Finanzierung haben. Diese könnten z. B. die Öffentlichkeit, die Medien, Gegner von zu erforschenden Technologien aber auch potentielle Wettbewerber sein. Auch sie sind wichtige Anspruchsgruppen, die als Zielgruppe in Frage kommen.

Direkt an der Entwicklung von Technologien und Prozessen beteiligte Wissenschaftler werden generell von der Öffentlichkeit als Experten und daher als glaub- und vertrauenswürdige Informationsquelle im Hinblick auf ihr Forschungsfeld angesehen. Da sie vom Staat finanziert werden, verkörpern sie eine gewisse Neutralität. Sowohl Entscheidungsträger als auch die Öffentlichkeit bringen ihnen ein hohes Maß an Vertrauen und Wertschätzung entgegen. Trotzdem ist es möglich, dass die Gesellschaft industriell geförderte Forschung nicht als unabhängig betrachtet. Für eine Forschungskoooperation kann das zu einem Problem werden, gerade in der aktuellen Forschungslandschaft mit öffentlicher Mittelknappheit und zunehmender Beteiligung industrieller Drittmittelgeber. Der Forschungsmanager muss sich daher bewusst sein, dass seine Kooperation und deren Mitarbeiter von der Öffentlichkeit nicht unbedingt automatisch als glaubwürdig wahrgenommen werden. Die wissenschaftliche Reputation eines Forschungsvorhabens aufzubauen, kann ein langwieriger, ressourcenintensiver Prozess sein. Letztlich steht im Vordergrund, dass die Botschafter als unabhängige Informationsquellen wahrgenommen werden, die die Zielgruppen als Kommunikationspartner schätzen und denen sie vertrauen.

Vermarktungsstrategien

Bevor konkrete Maßnahmen zur Vermarktung der Forschungsleistungen bzw. der Technologieentwicklungen ergriffen werden, ist die Entwicklung einer Corporate Identity notwendig. Die Corporate Identity umfasst ein Kommunikationskonzept. Es trägt maßgeblich zur Positionierung der Identität und eines klar strukturierten, einheitlichen Selbstverständnisses des Forschungszentrums bzw. der Forschungskoooperation bei. Ausgehend von einem Corporate Identity-Konzept, kann ein Forschungsmanager sich mit alternativen öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen befassen und damit, wie diese zu verbesserter Sichtbarkeit der Kooperation beitragen sowie sich als interessanter Partner für potenzielle Drittmittelgeber und Forschungspartner darzustellen.

Es sind verschiedene Vermarktungsmaßnahmen möglich, die zu folgenden drei Gruppen zusammengefasst werden können:

- Forschungsfokussierte Aktivitäten
- Lehrfokussierte Aktivitäten
- Verbreitungsfokussierte Aktivitäten

Forschungsfokussierte Aktivitäten sind insbesondere für Auftragsforschungen von Interesse. Auftragsforschung ist eine der wichtigsten Formen der Wissensvermarktung für Forschungsverbände. Ein Forschungsanbieter präsentiert sich als Problemlöser für einen Auftraggeber. Meist hat der Auftraggeber eine konkrete Forschungsfrage zu dem der Forschungsanbieter mit der Bearbeitung gezielter Lösungsansätze beauftragt wird. Auftraggeber bezahlen für die Erarbeitung von Lösungen ihres Problems und in den meisten Fällen gehören die Forschungsprodukte / Ergebnisse exklusiv dem Auftraggeber (. Solche

Aktivitäten sind wertvolle Vermarktungsmaßnahmen, da sie als Türöffner für potenzielle Langzeitkooperationen mit dem Auftraggeber dienen können. Ein weiteres Einsatzfeld für forschungsfokussierte Aktivitäten stellt die kooperative Forschung dar. Kooperative Forschung bezeichnet Forschungsprojekte, die gemeinsam mit Partnern, u. a. staatliche Partner, Industrie und Wissenschaft, durchgeführt werden. Diese Projekte bestehen aus mindestens zwei Partnern, die das Forschungsvorhaben mit einem gemeinsamen Ziel zusammen durchführen. Im Gegensatz zur Auftragsforschung ist kooperative Forschung zieloffener und die konkrete Umsetzung des Projekts wird zu Beginn der Zusammenarbeit nur begrenzt definiert. Darüber hinaus orientiert sich kooperative Forschung an den mittel- bis langfristigen Interessen der Partner, während Auftragsforschung auf kurzfristige und konkrete Ziele des Auftraggebers ausgerichtet ist. Kooperative Forschung kann u. a. eine gemeinsame Nutzung und einen gemeinsamen Austausch von technischen Ressourcen und Personal beinhalten. Dadurch gelingt es den Partnern, Synergien zu erzielen und innovative Ergebnisse zu erreichen, was allein schwierig oder nicht möglich wäre. Ähnlich der Auftragsforschung ermöglicht kooperative Forschung Chancen für einen intensiven Austausch, welcher die Grundlage für zukünftige strategische Zusammenarbeit darstellen kann.

Lehrfokussierte Vermarktungsaktivitäten sind vor allem für Hochschulen von Interesse. Zahlreiche Forschungsk Kooperationen umfassen einen oder mehrere Hochschulpartner. Das eröffnet die Gelegenheit, Studenten in Forschungsaktivitäten und -projekte einzubinden. Durch studentische Projekte, Seminararbeiten und Abschlussarbeiten wird es Studenten ermöglicht, an anwendungsnahen Fällen zu arbeiten. Sie bekommen die wertvolle Gelegenheit, erlernte Theorien, Konzepte und Methodiken auf Probleme aus Industrie und Gesellschaft anzuwenden. Durch eine solche Zusammenarbeit halten Forschungsorganisationen Kontakte mit staatlichen und Industriepartnern. Sie bekommen dadurch die Chance, die praktische Relevanz ihrer Forschung zu überprüfen. Das kann sich auf zukünftige Drittmittelbewilligungen von Praxispartnern positiv auswirken. Staatliche und wirtschaftliche Partner profitieren ebenfalls von solcher Zusammenarbeit, indem sie, durch eine Bereitstellung geringer Ressourcen, ihre Probleme und Aufgabenstellungen bearbeitet bekommen. Außerdem bietet dies insbesondere der Industrie eine einzigartige Gelegenheit, Kontakte zu Nachwuchs zu knüpfen und sich gleichzeitig als potenziellen Arbeitgeber zu positionieren. Die Organisation von organisationübergreifenden Doktorandenworkshops und Seminaren ist eine weitere auf Lehre fokussierte Vermarktungsaktivität. Die Förderung eines Nachwuchsforschernetzwerks durch solche Veranstaltungen hat signifikante Außenwirkungen. Nachwuchsforscher bzw. junge Wissenschaftler stellen nicht nur potenzielle Forschungspartner dar, sie sind auch mögliche Partner für künftige Forschungsk Kooperationen. Darüber hinaus unterstützen solche Aktivitäten die Verbreitung von Informationen zu Kompetenzen, Ressourcen und Forschungsergebnissen der Organisatoren. Das verbessert den Bekanntheitsgrad, die Sichtbarkeit und Reputation eines Forschungsanbieters.

Verbreitungsfokussierte Vermarktungsaktivitäten haben das Ziel, Informationen zu einer Forschungsk Kooperation öffentlichkeitswirksam nach außen zu tragen. Oft besteht der erste Schritt in der Erstellung einer Webseite. Webseiten können passiv sein und allgemeine Informationen zur Forschung eines Forschungsanbieters, Terminen und Publikationen, etc. verbreiten. Alternativ können sie aktiv gestaltet sein und im Sinne einer interaktiven Plattform Interessenten durch E-Mail Benachrichtigungen und Feeds darüber informieren, dass neues Material bereitgestellt wurde. Über eine Webseite hinausgehend können unterstützende Online- und Print-Kommunikationspakete, wie beispielsweise Newsletter, Broschüren oder Forschungsberichte entwickelt werden. Publikationen sind eine andere oft genutzte Vermarktungsmaßnahme von Forschungsanbietern. Wissenschaftliche Veröffentlichungen in referierten Journalen signalisieren eine Anerkennung der wissenschaftlichen Arbeit durch Fachleute. Solche Anerkennung erhöht die Reputation und den Status des publizierenden Forschers und seiner Organisation. Außerdem trägt es zur Glaubwürdigkeit als Experte und Informationsquelle innerhalb seines Feldes bei. Eine weitere Vermarktungsmaßnahme ist die Durchführung von Veranstaltungen wie wissenschaftliche Konferenzen, Tagungen, Messen, Symposien und Workshops mit einem Fokus auf Industrie und Politik. Sie bringen Forscher, staatliche und wirtschaftliche Akteure zusammen. Auf diesen Veranstaltungen können sich Drittmittelgeber und Kooperationspartner ein Bild von der Expertise eines Forschungsanbie-

ters machen. Ferner können sie technologische Innovationen kennenlernen, die verfügbar sind oder in der Wissenschaft gerade entwickelt werden. Hier ergeben sich Türöffner zwischen interessierten Parteien mit sich ergänzenden Ressourcen und Fähigkeiten für eine Kooperation oder eine strategische Zusammenarbeit. Die Lizenzvergabe in der Form von Patenten stellt eine weitere, verbreitungsfokussierte Vermarktungsmaßnahme dar. Gerade in naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen liegt der Fokus auf der Vermarktung „fertiger“ Forschungsergebnisse, oft in Form von Technologien, Prozessen oder Produkten, anstelle der Vermarktung von Forschungskompetenzen. Forschungsanbieter, die über innovative Patente verfügen, können daraus nicht nur Renommee schöpfen. Sie kommen auch als interessante Partner für die Praxis in Frage, da sie Expertise und Wissen in einem bestimmten Feld bewiesen haben.

Über die obengenannten forschungs-, lehr- und verbreitungsfokussierten Aktivitäten hinaus gibt es noch weitere Wege zur Vermarktung eines Vorhabens und dessen Forschungsergebnissen. Diese beinhalten informelle Kontakte und Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaftsunternehmen als Cluster oder Netzwerk. Solche Cluster oder Netzwerke werden gebildet, um den informellen Austausch zwischen wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Akteuren zu fördern. Ein förmlicherer Austausch zwischen wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Akteuren ist der Personalaustausch. Solche Austauschmöglichkeiten sind mit erheblichem Verwaltungsaufwand verbunden, wie etwa die Organisation der Übernahme von Verantwortungen durch Kollegen. Allerdings fördert diese Form des formellen Austauschs die Etablierung und Ausweitung eines bestehenden Netzwerks zwischen zwei austauschenden Organisationen. Weiter erlaubt das Instrument des Personalaustauschs u. a., Kompetenzen und Ressourcen des Austauschpartners aus erster Hand kennenzulernen, um künftige Kooperationsgelegenheiten besser zu identifizieren.

Ein wichtige Rolle beim Technologietransfer kommt Ausgründungen, auch „Spin Offs“ oder „Start-Ups“ genannt, zu. Sie stellen eine besonders effektive Form dar, um wissenschaftliche Kenntnisse zu vermarkten. Sie können als „inoffizielle“ Institutionalisierungen von Vermarktungsmaßnahmen gesehen werden, um Forschungsmethoden und -konzepte in einem wirtschaftlichen Umfeld ausprobieren zu können. Ausgründungen genießen meist die Unterstützung der Mutterorganisation – sowohl hinsichtlich personeller als auch technischer Ressourcen. Sie können die Kompetenzen und Reputation der Mutterorganisation herausstellen, um weitere Drittmittel zu beschaffen und interessierten Partnern Zugang zu den Ressourcen der Mutterorganisation zu bieten. Ausgründungen unterstützen die Kommerzialisierung von Kompetenzen und die Bildung einer Forschungskooperation. Sie stellen eine hocheffiziente Form des Technologietransfers dar, indem neueste technologische Erkenntnisse auf direktem Wege in einem Unternehmen umgesetzt werden können.

6.5.5 Positionsbestimmung von LCE-Technologien am Markt

Für die Positionsbestimmung einzelner LCE-Technologien wurden SWOT-Analysen durchgeführt, die ein bewährtes Instrument für strategische Planungen darstellen. Basierend auf den SWOT-Analysen lassen sich Handlungsoptionen für den angestrebten Technologietransfer ableiten. Daraus ergeben sich die Rahmenbedingungen für die Durchführung von gemeinsamen Verbundvorhaben unter Beteiligung von Partnern aus dem IIC-Forum. Die SWOT-Analysen stellen einen integralen Bestandteil der Projektsteckbriefe dar, mit denen einzelne Projektideen aufgegriffen und gemeinsam im Rahmen von Projektkonsortien weiterentwickelt wurden. Das Konzept der Projektsteckbriefe, die ein wichtiges Werkzeug der Strategieentwicklung des IIC-Forums bilden, wurde bereits im Abs. 6.4 dargestellt. In den Projektsteckbriefen wurde auch der erreichte Entwicklungsstand der einzelnen betrachteten LCE-Technologien auf Basis der SWOT-Betrachtungen analysiert, siehe dazu Beispiele für Projektsteckbriefe in Anlage 2.

In dem vorliegenden Abschnitt wird exemplarisch auf die Anwendung der SWOT-Analyse an die vergleichende Betrachtung von fossilen Energierohstoffe (am Beispiel der Braunkohle) und nachwachsenden Energierohstoffen (am Beispiel der Biomasse) eingegangen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2. SWOT-Analyse zur Nutzung fossiler und nachwachsender Rohstoffe

	Fossile Rohstoffe (am Beispiel Braunkohle)	Nachwachsende Rohstoffe (am Beispiel Biomasse)
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> • Einheimischer Kohlenstoffträger • Ausreichende mengenmäßige Verfügbarkeit mit Reichweiten über mehrere Generationen • Kontinuierliche Rohstoffförderung • Lagerfähigkeit • Geringer Flächenbedarf • Geringer Energie-Input • Geringe THG Emissionen • Hoher Erntefaktor • Hohe Kohlenstoffausbeute • Niedrige Unfallquote • Einkommen liegen über dem durchschnittlichen Bruttojahresverdienst • Qualifiziertes Fachkräftepotenzial vorhanden • Relative Preisstabilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Einziger erneuerbarer Kohlenstoffträger • Einheimischer Kohlenstoffträger • Vielfältige Einsatzmöglichkeiten • Speicher- bzw. Lagerfähigkeit • Allgemeine höhere Akzeptanz • Qualifiziertes Fachkräftepotenzial vorhanden
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> • Devastierung von Böden • Großflächige Beeinträchtigung des Grundwasserhaushalts • Verlegung von Stand- und Fließgewässern • Lärm- und Staubbelastungen • Wettbewerbsfähigkeit gegenüber etablierten petrochemischen Verfahren • Flächennutzungskonflikte zur Land- und Forstwirtschaft und zu Erholungsflächen • Geringe Transportwürdigkeit • Allgemein niedrige Akzeptanz • Hohe lokale Umweltbelastung 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr großer Flächenbedarf, monotone Landschaftsbilder • Keine ausreichende mengenmäßige Verfügbarkeit, saisonale Abhängigkeiten • Ertrags- und Qualitätsschwankungen • Großer Energie-Input • Größere produktionsbedingte Treibhausgasemissionen • niedriger Erntefaktor • niedrige Kohlenstoffausbeute • Wettbewerbsfähigkeit gegenüber etablierten petrochemischen Verfahren • Bodenerosion • Schadstoffeinträge durch Düngung und Pflanzenschutzmittel • Einkommen liegen unter dem durchschnittlichen Bruttojahresverdienst • geringe Transportwürdigkeit

Tabelle 2 (weiter). SWOT-Analyse zur Nutzung fossiler und nachwachsender Rohstoffe

	Fossile Rohstoffe (am Beispiel Braunkohle)	Nachwachsende Rohstoffe (am Beispiel Biomasse)
Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Versorgungssicherheit • Verringerung der Importabhängigkeit • Substitutionspotenziale für Erdöl • Höhere Wertschöpfungseffekte durch stoffliche Nutzung • Keine Ausweitung des heutigen Fördervolumens notwendig durch Nutzung freiwerdender Fördermengen aus der Kohleverstromung • Erhalt von Arbeitsplätzen in den Revieren • Schaffung neuer Arbeitsplätze dank stofflicher Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Versorgungssicherheit • Verringerung der Importabhängigkeit • Substitutionspotenziale für Erdöl • Höhere Wertschöpfungseffekte durch stoffliche Nutzung • Neue Werkstoffe und Produkte • Erhalt von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum • Schaffung neuer Arbeitsplätze dank stofflicher Nutzung
Risiken	<ul style="list-style-type: none"> • Irreversible Veränderung der Kulturlandschaft • Abbau einer fossile Ressource • Versauerungsprozesse bei Grundwasseranstieg • Erhebliche Beeinträchtigung der Biodiversität • Evtl. Umsiedlung von Teilen der Bevölkerung notwendig • Änderung politischer Rahmenbedingungen (Kohleausstieg insgesamt?) • Stoffliche Nutzung mit hohen Investitionskosten verbunden 	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzte Flächenverfügbarkeit • Verschärfung der Flächennutzungskonflikte zur energetischen Nutzung und zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion • Beeinträchtigung der Biodiversität • Änderung politischer Rahmenbedingungen • Wettbewerbsverzerrung durch hohe Förderung der energetischen Nutzung • Abhängigkeit von Subventionen, Importen, Pachtpreisen und vom Weltmarktpreis • Hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf • Stoffliche Nutzung mit hohen Investitionskosten verbunden • Preisanstieg für Rohstoffe infolge verstärkter Nachfrage bei begrenzter Verfügbarkeit

6.5.6 Ableitung von Handlungsoptionen für den Technologietransfer

Die Sektorkopplung von Energiewirtschaft mit den kohlenstoffintensiven Industriezweigen Chemie, Metallurgie und Recycling (insbesondere das chemische Recycling von Abfallkunststoffen als Alternative zur Müllverbrennung) stellt den noch ausstehenden Meilenstein für die Energie- bzw. Rohstoffwende dar. Damit öffnet sich die Tür für die Schaffung von geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen in den Industrieländern, allen voran in Deutschland. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Transfer innovativer Technologien für die Sektorkopplung und die Etablierung der Low Carbon Economy in die Praxis stellt die Demonstration der technischen Machbarkeit der LCE-Technologien im semi-industriellen Maßstab dar. Das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON arbeitet gemeinsam mit dem Zwanzig20-Konsortium HYPOS (Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany, gefördert vom BMBF im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“) und dem Bündnis IBI - Innovative Braunkohlenintegration Mitteldeutschland (2008 gegründet und 2011-2014 vom BMBF als „Regionaler Wachstumskern“ gefördert) an der Einrichtung einer Technologieplattform am Chemiestandort Leuna, die der großtechnischen Pilot-Demonstration von innovativen Technologien zur Einkopplung erneuerbarer Energie in kohlenstoffbasierte Konversionsprozesse (Power-to-X) dient. Dank der Einbindung des Zwanzig20-Konsortiums HYPOS, das die wirtschaftliche Erzeugung und chemische Speicherung von strombasiertem „grünem“ Wasserstoff adressiert, wird mit dem geplanten Demonstrationszentrum am Standort Leuna die technologische Brücke zwischen der Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft und der auf der Nutzung von erneuerbaren Energien basierenden Wasserstoff-Wirtschaft geschlagen.

Das Konzept für das Demonstrationszentrum wurde von den beteiligten Akteuren HYPOS, IIC, IBI und den mit ihnen verbundenen Partnern aus der Wissenschaft und Wirtschaft bereits weitgehend erarbeitet. Es sieht vor, das am Standort Leuna ein Technologiecluster mit einem jährlichen Einsatz bis zu 25.000 Tonnen kohlenstoffhaltiger Rohstoffe (Braunkohle, Kunststoffabfälle, Industrieabfälle, biogene C-haltige Rohstoffe, perspektivisch CO₂ aus prozessbedingten und biogenen Quellen sowie atmosphärisches CO₂) errichtet wird. Das Demonstrationszentrum wird vollständig in den energetischen und stofflichen Verbund des Chemie-Standorts integriert, die erzeugten Produkte werden in der Standort-Infrastruktur genutzt. Das Zusammenspiel von weiterentwickelten und innovativen Technologien mit neuen Rohstoffen soll untersucht und erprobt werden. Im Ergebnis der Demonstration werden technisch, wirtschaftlich und ökologisch belastbare Kenntnisse für die Auslegung und den wirtschaftlichen Betrieb der späteren Großtechnik für LCE-Technologien für die CO₂-emissionsarme Sektorkopplung vorliegen. Mit der Nähe zu den mitteldeutschen Braunkohlelagerstätten und der Möglichkeit zur breiten Nutzung der vorhandenen Infrastruktur, insbesondere für die Bereitstellung der technischen Gase und der Verwendung des erzeugten Synthesegases, bietet der Chemiepark Leuna in Kombination mit der geplanten Elektrolysetest- und -versuchsplattform des Zwanzig20-Konsortiums HYPOS deutschlandweit die besten Standortvoraussetzungen für die Demonstration von zukunftsorientierten LCE-Technologien im industrienahen Maßstab.

Die universelle Schlüsseltechnologie zur Umsetzung der geschlossenen Kohlenstoffketten im Rahmen der Sektorenkopplung ist die Vergasung (Partialoxidation anstelle Verbrennung) mit der gezielten Erzeugung von Synthesegas zur anschließenden Synthese von sogenannten Plattform-Chemikalien, z.B. Methanol als Basis für viele andere organisch-chemischen Produkte. Darüber hinaus ist die Vergasung die einzige Option zur flexiblen und gekoppelten Nutzung verschiedener Kohlenstoffträger (heimische Kohleressourcen, C-haltige Abfälle, Klärschlamm, Biomasse, prozessbedingtes, biogenes und atmosphärisches CO₂), die die Entkopplung von Einsatzstoff- und Produkteigenschaften und damit eine echte Kreislaufschließung bzw. ein chemisches Recycling ermöglicht. Mit der Synthesegasnutzung wird gleichzeitig die Einkopplung von e-H₂ ermöglicht, das den CO₂-Footprint der Kohlenstoffketten weiter verbessert und eine Speicherung von e-Strom in Form von chemischer Energie darstellt. Um eine Markteinführung einer solchen integrativen Technologie überhaupt zu ermöglichen, ist eine umfassende Erprobung und verlässliche Demonstration aller technologischen Schritte notwendig. Durch die Anbindung an den Chemiepark Leuna werden

zugleich mögliche Synergieeffekte aufgezeigt und es der Grundstein für eine großtechnische Realisierung am Standort gelegt.

Das zentrale Ziel der Einrichtung eines Demonstrationszentrums am Standort Leuna besteht in der Schaffung geeigneter infrastruktureller Voraussetzungen für die Erprobung von LCE-Technologien und der Demonstration ihrer industriellen Umsetzbarkeit. Zusätzlich werden die Rahmenbedingungen für eine wirtschaftliche Umsetzung der Verfahren ermittelt, um ein verlässliches Scale-up auf den großindustriellen Maßstab zu ermöglichen und damit die Chancen für den Technologietransfer zu verbessern. Dies beinhaltet u.a. folgende Aufgabenstellungen:

- Testung verschiedener kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe zur Bestimmung der prozesstechnischen und ökonomischen Randbedingungen
- Variation der Einsatzstoffgemische und Definition von Einsatzgrenzen und Flexibilität der Einbindung verschiedener biogener Rückstände (u.a. Holzabfälle, Gärreste, landwirtschaftliche Abfälle) je nach Verfügbarkeit
- Prozessoptimierung unter Beachtung der Einsatzstoffcharakteristik
- Anpassung der Gasreinigungsstufen an das Einsatzstoffspektrum
- Testung von Materialien zur Verbesserung der Verfügbarkeit
- Nachweis von Leistungsparametern und Zuverlässigkeit
- Optimierung der Prozesssteuerung und Prozessautomatisierung

Für die Wahl des Chemiepark Leuna als Standort für das geplante Demonstrationszentrum sprechen folgende Aspekte:

- Die Infrastruktur am Standort ermöglicht die allumfassende direkte Bereitstellung aller benötigten technischen Gase ohne den Aufbau von spezieller Aufbereitungstechnik oder Transport- und Verladetechnik
- Das erzeugte Synthesegas kann sowohl mit als auch ohne Wasserstoffzugabe innerhalb des Verbundgassystems abgenommen werden
- Es bestehen sehr günstige logistische Bedingungen für die Bereitstellung von heimischen Braunkohlen (Mitteldeutsches Kohlerevier) und für die Vorbehandlung von Reststoffen und Abfällen
- Die Infrastruktur für die Abnahme von Nebenprodukten und Reststoffen sowie Abwasser ist gegeben
- InfraLeuna als Infrastrukturplaner am Standort kann die benötigten Flächen und Zufahrten bereitstellen und ist an einer weiteren Nutzung und Verwertung der Technologie interessiert
- Qualifizierte Ingenieure und Techniker zur Unterstützung der Maßnahmen und für Beratung sind am Standort vorhanden
- Administrative Bereiche und Laborkapazitäten der im Nahen Umkreis vorhandenen Fraunhofer-Forschungsinfrastruktur können mitgenutzt werden (Fraunhofer IMWS/CPB), wodurch kosteneffizient gearbeitet werden kann
- Durch die unmittelbare Nähe zur geplanten Elektrolysetest- und –versuchsplattform lassen sich weitere Synergieeffekte hinsichtlich Personaleinsatz, Überwachung und Organisation schaffen
- Die Errichtung der Technologieplattform bietet die Möglichkeit der Erweiterung durch Testanlagen für neue Prozesssynthesen auf der Basis von Wasserstoff, CO₂ oder Synthesegas.

Das geplante Demonstrationszentrum soll Betreibern, Planern und Anlagenbauern die Möglichkeit eröffnen, die Anwendungsbreite für die verschiedensten Kohlenstoffträger und Einsatzstoffe zu testen und die erforderlichen Daten und Informationen für eine kommerzielle Nutzung zu erlangen. Mit der Anbindung an den Chemiepark Leuna sollen zugleich die möglichen Synergieeffekte aufgezeigt und demonstriert werden, die auch für andere Standorte beispielgebend sein können.

6.6 Konzeption und Einrichtung von Nachwuchsforscherguppen

Bislang waren keine größeren Forschergruppen bekannt, die die wissenschaftlichen Aktivitäten im Bereich von LCE-Technologien thematisch gebündelt haben und die Technologieentwicklungen vorantrieben. Entsprechend der Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens war es vorgesehen, eine Nachwuchsforscherguppe im Themenbereich „Energie-Stoff-Transformationen“ einzurichten. Diese Forschergruppe soll in enger Zusammenarbeit mit der Industrie in Ostdeutschland einen weltweit sichtbaren Innovationskern etablieren. An die Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe wird die Erwartung geknüpft, das junge Wissenschaftler sich auf dem Gebiet der LCE-Technologien profilieren und an der Schnittstelle zwischen der angewandten Forschung und der Wirtschaft einen Technologievorsprung schaffen. Unter dem Dach des IIC-Forums wurde eine Reihe von Aktivitäten zur Beantragung, Aufbau und Umsetzung einer Nachwuchsforscherguppe durchgeführt. Diese Arbeiten erfolgten im Einklang mit den AP34 bis AP39 der ursprünglichen Arbeitsplanung. Während der Projektlaufzeit wurden zwei unterschiedliche Konzepte für die Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe ausgearbeitet und bis zur Erstellung entsprechender Projektanträge geführt. Die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten sind in den nachfolgenden Abs. 6.6.1 und 6.6.2 dargestellt.

6.6.1 Nachwuchsforscherguppe RECO2

Zunächst wurde ein Konzept für eine Nachwuchsforscherguppe zum Thema „Beitrag der Beitrag der stofflichen CO₂-Nutzung zur Resilienz des Energiesystems Deutschlands: Potenziale, Konfliktfelder und Handlungsoptionen aus sozio-ökologischer Perspektive“ ausgearbeitet. Für die Förderung dieser Nachwuchsforscherguppe wurde ein Projektantrag vorbereitet und im Rahmen der BMBF-Ausschreibung „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ (FONA) eingereicht. Die einzelnen Schritte der Konzepterstellung sind weiter unten dargestellt.

Hintergrund

Energiebedingte Emissionen sind gegenwärtig für rd. 85 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen (THG) verantwortlich [22]. Erklärtes Ziel ist es, bis 2050 die THG-Emissionen um 80 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Dies stellt eine große Herausforderung an die Resilienz – die Fähigkeit zur Anpassung an sich veränderte Rahmenbedingungen – des Energiesystems dar. Durch die systembedingte Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage erneuerbarer Energien wird eine bedarfsgerechte Versorgungssicherheit erschwert, die das gesamte Energiesystem beeinträchtigt. Für die Sicherung einer stabilen Stromerzeugung bedeutet dies, dass auch 2050 erneuerbare Energien durch fossile Kraftwerkstechnik ergänzt werden müssen [23]. Die Verringerung der CO₂-Emissionen fossiler Energieträger stellt deshalb einen komplementären Baustein der deutschen Energiewende dar, um die langfristigen Treibhausgase-Reduktionsziele zu erreichen.

Daraus ergeben sich drei grundlegende Problemstellungen:

- *Netzstabilität* – Entwicklung von Lösungen für die innovative Nutzung des Überschussstroms aus erneuerbaren Energien
- *Nachhaltigkeit* – Entwicklung von Optionen für die weitere Reduzierung der auch noch 2050 durch Stromerzeugung anfallenden THG-Emissionen, die mit 62 bis 250 Mio. t CO₂-Äquivalenten prognostiziert werden [22]
- *Akzeptanz* – hier wird insbesondere die zukünftige Rolle fossiler Stromerzeugung in Deutschland sehr kontrovers diskutiert

Gefordert sind Konsistenzstrategien, bei denen es um qualitativ neue Formen der Energie- und Rohstoffnutzung geht, die im Einklang mit der Belastbarkeit natürlicher Quellen bzw. Senken stehen und zugleich auch einen gesellschaftlichen Transformationsprozess bedingen. Dieser erweiterte Betrachtungsrahmen, der das Energiesystem als ein sozio-technisches System betrachtet, geht weit über die Möglichkeiten traditioneller Suffizienz- und Effizienzstrategien hinaus.

In Deutschland werden nach wie vor fossile Kohlenstoffträger für die Energiegewinnung benötigt. Für die weitere Begrenzung der CO₂-Emissionen reichen Effizienzsteigerungen allein nicht aus. Es sind innovative Lösungen für die stoffliche Nutzung von CO₂ bzw. Carbon Capture and Utilization (CCU) zu entwickeln. CCU-Technologien können durch wertschöpfende chemische oder biologische Prozesse CO₂ als Rohstoff nutzen und in den Kohlenstoffkreislauf zurückzuführen [23]. Durch CCU könnte damit nicht nur der CO₂-Footprint fossiler, sondern auch von Biomassekraftwerke reduziert werden. Das trägt zur *Stabilität* der gesamten Systems durch die innovative Nutzung der durch die Energiewende bedingten erhöhten Mengen an Überschussstrom bei. Auch sind die verlängerte Fixierung von CO₂ in Produkten und der Erhöhung der Wertschöpfung im Kontext der *Nachhaltigkeit* von Bedeutung.

Neben der Verbesserung der CO₂-Bilanz liegen die Vorteile von CCU vor allem beim Substitutionspotenzial für Produkte, die bisher aus Erdöl oder Erdgas hergestellt werden. Geht man davon aus, dass 2050 im Minimum immer noch Treibhausgasemissionen von rd. 62 Mio t CO₂-Äquivalenten in Deutschland anfallen, die zum Großteil im Zusammenhang mit der Energiegewinnung stehen, verfügt CCU theoretisch über das Potenzial, den Kohlenstoffbedarf der organischen chemischen Industrie in heutiger Dimension zu decken. Jedoch zeigen der verstärkte Ausbau erneuerbarer Energien, aber auch die CO₂-Speicherthematik (CCS), dass die erfolgreiche Überführung neuer Technologien in die Praxis nicht nur von der technischen Machbarkeit und der Wettbewerbsfähigkeit abhängen, sondern sehr stark von gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen und letztlich von der *Akzeptanz* in der Bevölkerung. CCU stellt eine in der Gesellschaft bisher wenig wahrgenommene Alternative zur Nutzung anthropogenen CO₂ dar. Ganzheitliche Betrachtungen zu CCU sind bisher nur ansatzweise Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung von CCU hat nicht nur Relevanz für die Energiewirtschaft, sondern auch für andere CO₂-intensive Industriezweige wie Chemie, Metallurgie und Zementindustrie. Es besteht daher die Notwendigkeit zum Ansatz ganzheitlich orientierter systemischer Betrachtungen, die den gesamten Lebenszyklus einschließen. Das bedingt auch die Einbeziehung sozialer Fragestellungen, wie nach der Wahrnehmung und Akzeptanz von CCU in der Gesellschaft, um technisch-ökonomische Forschungsaktivitäten in dieser Richtung zu ergänzen.

Zielsetzung

Zielstellung der interdisziplinären Nachwuchsgruppe ist es, den Transformationsprozess für eine CO₂-arme Wirtschaft aus sozio-ökologischer und technisch-ökonomischer Sicht zu analysieren und gleichzeitig einen Beitrag zur Erhöhung der Resilienz des zukünftigen Energiesystems zu leisten. Der Fokus liegt auf der sozio-ökologischen Analyse zukunftsfähiger Lösungen für die innovative Nutzung des Überschussstroms aus erneuerbaren Energien und der Entwicklung von Optionen für die weitere Reduzierung der auch noch 2050 durch Stromerzeugung anfallenden THG-Emissionen. Am Beispiel der stofflichen Nutzung von CO₂ (CCU) für die Methanolproduktion bzw. die Herstellung synthetischen Erdgases (SNG) werden Optionen für die Verbesserung der gesellschaftlichen Pass- und Handlungsfähigkeit entwickelt und entsprechende Steuerungsinstrumente identifiziert. Um wissenschaftlich fundierte, praxiswirksame Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente für die Überführung von CCU entwickeln zu können, sind problembezogene systemanalytische Betrachtungen der komplexen Wechselwirkungen zwischen Technik, Natur und Gesellschaft erforderlich.

Arbeitsplan

Es sind folgende Arbeitspakete zur Umsetzung der Zielstellung vorgesehen:

AP 1: Analyse zum Stand der Technik und sozio-ökologischen Rahmenbedingungen

Als Grundlage der Bewertung von CCU wird eine Literaturrecherche zu relevanten Prozessrouten zur Methanol/SNG-Produktion auf CO₂-Basis unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus durchgeführt (inkl. Bereitstellung der Rohstoffe, Technologien für die CO₂-Abtrennung und Synthesetechnologien). Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Analyse der aktuellen Rahmenbedingungen und Entwicklungstendenzen für eine CCU-Umsetzung.

AP 2: Stoffliche und energetische Bilanzierung der Wertschöpfungsketten

Auf Grundlage detaillierter Energie- und Stoffbilanzen werden die einzelnen CCU-Wertschöpfungsketten vergleichend betrachtet. Wesentliche Prozessschritte sind die Rohstoffbereitstellung und -aufbereitung, der Kraftwerksprozess, die CO₂-Abtrennung, die CO₂-basierte Synthese und Produktaufbereitung, sowie die Wasserstoffbereitstellung. Die Bilanzierung erfolgt auf Basis von Daten aus der Literatur, Experteninterviews und eigenen Fließbildsimulationen der Prozesse zur Schließung von Stoff- und Energiebilanzen.

AP 3: Nachhaltigkeitsbewertung

Für die Nachhaltigkeitsbewertung wird eine Methodik zur ganzheitlichen Bewertung sozio-ökologischer und technisch-ökonomischer Folgewirkungen entwickelt, die den gesamten Lebenszyklus (Life-Cycle-Analyse) hinreichend genau umfassen. Dies bezieht alle Prozessschritte von Rohstoffgewinnung bzw. -produktion, der Rohstoffaufbereitung und -bereitstellung, den Transport, die Stromerzeugung und das CO₂-processing bis zur Produktraffinierung ein.

AP 3.1 Bestimmung ökonomischer Indikatoren und Effekte

Die Auswahl ökonomischer Indikatoren orientiert sich an gängigen betriebswirtschaftlichen Kennziffern und Methoden. Die Basis bildet dabei die Bestimmung der Anlagekosten (CAPEX), der Betriebskosten (OPEX), der Produktionskosten sowie der Lebenszykluskosten („Life Cycle Costing“). Die ökonomischen Auswirkungen der Wertschöpfungsketten werden nach den ausgewählten Indikatoren bewertet.

AP 3.2 Bestimmung ökologischer Indikatoren und Effekte

Grundlage für die Bestimmung ökologischer Indikatoren bilden Indikatoren aus dem Bereich der Ökobilanzierung nach ISO 14040/14044 anhand bestehende LCA Methoden (z.B. EcoIndicator 99). Die Daten werden aus der Prozesssimulation und von externen Quellen wie LCA-Datenbanken ermittelt (z.B. Ecoinvent durch ETH Zürich). Die ökologischen Auswirkungen der Wertschöpfungsketten werden nach den ausgewählten Indikatoren bewertet.

AP 3.3 Bestimmung sozialer Indikatoren und Effekte

Die für CCU relevanten sozialen Indikatoren sollen zunächst auf Basis von Literaturrecherchen generiert und durch die Erkenntnisse aus Arbeitspaketen 4.1 und 4.2 ergänzt. Relevante Indikatoren werden ermittelt (abhängig von der Verfügbarkeit von öffentlich zugänglichen Informationen, Literaturrecherche und Experten Feedback). Die sozialen Auswirkungen der Wertschöpfungsketten werden nach den ausgewählten Indikatoren bewertet.

AP 3.4 Evaluierung der Nachhaltigkeitsindikatoren

Die in den vorangestellten Arbeitspaketen ausgewählten Indikatoren werden anschließend einer Evaluierung bzw. Wichtung zugeführt. Diese soll unter Einbeziehung unterschiedlicher Akteurs- und Interessengruppen im Rahmen diskursiver Verfahren anhand konkreter Fallstudien realisiert werden. Hierbei geht es um eine transparente Darstellung unterschiedlicher Sichtweisen, Wertevorstellungen und Argumente als Grundlage für die Bewertung und Wichtung der Einzelindikatoren. Weiterhin werden ungelöste Interessens- bzw. Zielkonflikte identifiziert und analysiert sowie möglicher Handlungsbedarf abgeleitet.

AP 4: Akzeptanz von CCU

Schwerpunkte dieses Arbeitspaketes bilden die Analyse von Einflussfaktoren und Prozessen, die die Wahrnehmung und Akzeptanz gegenüber kontrovers diskutierten Energiequellen und verbundene Technologien beeinflussen. Darüber hinaus geht es um die Entwicklung von wissenschaftlich fundierten, in der Praxis umsetzbaren Werkzeugen, um Bewusstsein und Akzeptanz im Zusammenhang mit der Umsetzung von CCU zu fördern.

AP 4.1 Wissenstand, Wahrnehmung und Akzeptanz

Aufbauend auf Erkenntnisse aus den Bereichen Risiko- und Entscheidungsfindungsforschung wird eine quantitative Umfrage entwickelt um 1) das Bewusstsein über die Vernetzung des Energiesystems, 2) die Wahrnehmung der Rolle der fossilen Energieträger im zukünftigen Energiemix, und 3) das Wissen, Wahrnehmung und Akzeptanz der CCU zur Energieerzeugung zu untersuchen. Nach einem Pretest wird eine repräsentative Befragungsstudie in

Deutschland durchgeführt (Umsetzung z.B. durch TNS Emnid). Qualitative Interviews mit ausgewählten Interessengruppen (Fokus auf Politik, Wirtschaft, Medien und NGOs) ergänzen die Befragung. Die Umfrage ermöglicht die Identifizierung von spezifischen Vorstellungen, Bedenken und Prioritäten sowie Konsens und Konfliktpotenziale verschiedener Akteure bzw. Gruppen. Eine zweite repräsentative Studie (im 5. Jahr) ermöglicht eine Analyse der Veränderungen in Wissen, Wahrnehmung und Akzeptanz im Laufe des Projektzeitraums.

AP 4.2 Einflussfaktoren auf Wahrnehmung und Akzeptanz

Eine Literaturrecherche zu kontrovers diskutierten Technologien (z. B. CCS, Kernkraft, Nanotechnologie) unterstützt die Identifizierung von Faktoren und Prozesse, die eine Einwirkung auf der öffentlichen Akzeptanz von CCU haben können. Ein Methodenmix – Kombination von psychometrische Methoden und qualitative Fokusgruppen – unterstützt die Erforschung des Einflusses von Verhaltensdeterminanten (z. B. Affekt, Vertrauen, Werte) und anderen Faktoren (z. B. Bildung, Geschlecht, Wissen, Zugehörigkeit, „*Framing*“) auf die individuelle Wahrnehmung und Präferenz für CCU. Aufbauend auf Erkenntnissen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen sollen auch diskursive und strukturelle Untersuchungen von „*Lock-in*“ Effekten im gesellschaftlichen Kontext auf die Wahrnehmung und Akzeptanz von CCU erfolgen.

AP 4.3 Entwicklung von Maßnahmen

Dieses Arbeitspaket fokussiert auf die Entwicklung und Erprobung von Maßnahmen und Instrumenten zur Vertiefung des Verständnisses über die systemische Natur und die Interdependenzen im Energiesystem. Weiterhin werden alternativer Methoden des Wissenstransfers zwischen Spezialisten und ausgewählten Stakeholdern im Zusammenhang mit CCU untersucht. Eine Analyse auf nationaler und internationaler Ebene (z. B. angesprochene Akteure, verwendeten Werkzeuge, erforderlichen Ressourcen, Herausforderungen, Erfahrungen etc.) wird Erkenntnisse für die Entwicklung praxistauglicher Werkzeuge und Programms liefern, die auf die deutschen Rahmenbedingungen angepasst sind, um Bewusstsein, Wissen und Dialog sowie Akzeptanz von CCU zu fördern.

AP 5: Ableitung von Handlungsempfehlungen

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den vorangegangenen Arbeitspaketen sollen Rahmenbedingungen formuliert werden, die eine erfolgreiche Überführung von CCU in die industrielle Praxis wirksam unterstützen können. Ein weiterer Schwerpunkt beinhaltet die Identifizierung entsprechender Steuerungsinstrumente sowie die Ableitung von weiterem Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.

Arbeitspaket 6: Projektmanagement

Die TU Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) übernimmt als Antragsteller das Projektmanagement.

Arbeitspaket 6.1: Projektkoordination und Kooperation mit Praxispartnern

Die TU Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) koordiniert die Zusammenarbeit zwischen den Projekt- und Hauptkooperationspartnern. Neben der Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig sind Kooperationen mit dem Institut für Energie- und Klimaforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung des FZ Jülich (IEK-STE) und IASS Potsdam aus Deutschland, der University of Sheffield aus Großbritannien sowie Industriepartnern wie RWE vorgesehen.

Arbeitspaket 6.2: Qualifikation und Bildung von Netzwerken

Die Arbeitspakete stellen eigenständige Forschungsfelder mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Zielen dar. Mit der zu Beginn des Vorhabens gemeinsamen Problemanalyse und ersten Untersuchungen zum Forschungsgegenstand sollen individuelle Promotions- und Habilitationsthemen entwickelt werden. Die vorgesehene Gruppenleiterin, Frau Dr. Lee, fungiert am IEC als Abteilungsleiterin für den Bereich Technikfolgenabschätzung. Zu ihrem Aufgabenspektrum gehört auch die Betreuung von Nachwuchswissenschaftlern. Für sie ist eine externe, sozialwissenschaftlich orientierte Habilitation geplant, die vorrangig durch Prof. Renn (Universität Stuttgart / IASS Potsdam – Empfehlungsschreiben als Anlage beigefügt)

betreut wird. Weitere Qualifikationsarbeiten können schwerpunktmäßig von Prof. Meyer (TU Bergakademie Freiberg, IEC – Empfehlungsschreiben als Anlage beigefügt) betreut werden. Beide Mentoren verfügen über umfangreiche Erfahrungen mit inter- und transdisziplinäre Forschung sowie der Betreuung von Promotions- und Habilitationsarbeiten; Prof. Renn durch seine Aktivitäten als Direktor des Zentrums für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung an der Universität Stuttgart und als wissenschaftlicher Direktor der IASS Potsdam und DIALOGIK gGmbH, und Prof. Meyer als Direktor des IEC und Leiter einer Vielzahl interdisziplinär angelegter Vorhaben wie dem Deutschen Energierohstoff-Zentrum oder als Geschäftsführer der DBI - Virthcon GmbH .

Analyse- und Bewertungsmethoden

Die Nachwuchsforschungsgruppe verfolgt einen systemischen Ansatz und verwendet bewährte Methoden und Konzepte aus den Ingenieur- und Sozialwissenschaften sowie dem Bereich der Technikfolgenabschätzung:

- Energie- und Stoffstromanalysen, Prozesssimulationen und Wirtschaftlichkeitsbewertungen (z.B. mit der Prozesssimulationssoftware ASPEN Plus)
- Ökobilanzierung (LCA) sowie Sozialbilanzierung (sLCA)
- Supply-Chain-Risikobewertung
- Repräsentative Umfragen

Organisation und Infrastruktur

Die Arbeitsgruppe soll an der TU Bergakademie Freiberg angesiedelt werden, die auch die notwendige Infrastruktur zur Verfügung stellt. Die TU Bergakademie Freiberg hat sich mit ihren Profillinien Geo, Material, Energie und Umwelt in Deutschland zur führenden Ressourcenuniversität entwickelt, wodurch sehr gute Voraussetzungen für ganzheitliche Betrachtungsweisen von der Rohstoffgewinnung bis zur technischen Nutzung vorliegen. Der Fokus des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) liegt auf der effizienten und nachhaltigen Nutzung von fossilen und nachwachsenden Energierohstoffen. Die Nachwuchsgruppe kann insbesondere von dem interdisziplinären Know-how und der Organisationsstruktur, sowohl vom IEC als auch der Universität als Ganzem, profitieren. Zugleich bilden die geplanten Aktivitäten der Forschergruppe eine wertvolle Ergänzung zu den technisch-ökonomisch fokussierten Arbeiten am IEC und leisten einen Beitrag zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung des Energiesystems.

Als Projektpartner ist die Sächsische Akademie der Wissenschaften (SAW) zu Leipzig vorgesehen, die sich seit 1997 vertiefend mit der Thematik „Technikfolgenabschätzung“ zu unterschiedlichen Problemstellungen beschäftigt. Die Tätigkeit der gleichnamigen Arbeitsstelle ist aus strategischer Sicht darauf gerichtet, problembezogen wissenschaftlich fundierte Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung zu leisten. Durch entsprechende Technikfolgenabschätzungen soll der Prozess der Willensbildung und Akzeptanzförderung bei Entscheidungsträgern in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft unterstützt werden. Weitere Kooperationen sind mit Forschungspartnern wie dem Institut für Energie- und Klimaforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung des FZ Jülich (IEK-STE) und IASS Potsdam aus Deutschland, sowie die University of Sheffield aus Großbritannien vorgesehen. IEK-STE hat langjährige Erfahrung zur Akzeptanzforschung zu CCS-Technologien in Deutschland, IASS beschäftigt sich mit der stofflichen CO₂ Nutzung und die University of Sheffield ist aktiv in diversen Forschungsprogrammen und Netzwerken zu CCU-Technologien. Der wissenschaftliche Austausch mit diesen Einrichtungen wird der Nachwuchsgruppe wertvolle Impulse für die Durchführung ihrer Forschung geben.

Darüber hinaus sind Kooperationen mit Industriepartnern wie RWE – Partner im Energierohstoff-Netzwerk des IEC – vorgesehen. Mit der Einbeziehung von RWE als Konsultationspartner wird das Vorhaben von einem der führenden europäischen Energieversorger begleitet, für den die CO₂-Thematik, die Resilienz des Energiesystems, sowie gesellschaftliche Akzeptanzprobleme im Zusammenhang mit der Einführung neuer Technologien von besonderer Bedeutung ist.

Konzipierung der Umsetzungsphase

In Abb. 29 ist der geplante Arbeits- und Zeitplan der zukünftig am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen der TU Bergakademie Freiberg zu etablierenden Nachwuchsforschergruppe dargestellt.

Nummer und Beschreibung der jeweiligen Arbeitspakete (AP)	MM	Phase 1				Phase 2				Phase 3				
		1		2		3		4		5				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP 1: Stand der Technik und sozio-ökologischen Rahmenbedingungen	18													
AP 2: Stoffliche und energetische Bilanzierung der Wertschöpfungsketten	10													
AP 3: Nachhaltigkeitsbewertung														
AP 3.1 Ökonomische Indikatoren und Effekte	14													
AP 3.2 Ökologische Indikatoren und Effekte	24											M3		
AP 3.3 Soziale Indikatoren und Effekte	16													
AP 3.4 Nachhaltigkeitsindikatoren	16													
AP 4: Akzeptanz von CCU-Technologien														
AP 4.1 Stand des Wissens, der Wahrnehmung und Akzeptanz von CCU	24					M2								
AP 4.2 Einflussfaktoren der Wahrnehmung und Akzeptanz	28													
AP 4.3 Entwicklung von Maßnahmen	30													
AP 5: Handlungsempfehlungen	24													
AP 6: Projektmanagement														
AP 6.1 Projektkoordination & Kooperation mit Praxispartnern	12			M1										
AP 6.2 Qualifikation, Bildung von Netzwerken und Ergebnisveröffentlichung	24													
Total MM	240													

Abbildung 29: Arbeits- und Zeitplanung für die Nachwuchsforschergruppe RECO2

Status der Beantragung

Für den Antrag zur Einrichtung der Nachwuchsforschergruppe RECO2 im Rahmen des BMBF-Programms „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ wurde keine Förderung aus öffentlichen Fördermitteln bewilligt.

6.6.2 Nachwuchsforschergruppe STEEP

Nachdem der Antrag zur Einrichtung der Nachwuchsforschergruppe RECO2 keine Berücksichtigung für eine Projektförderung aus öffentlichen Mitteln gefunden hatte, wurde ein weiteres Konzept für eine Nachwuchsforschergruppe zum Thema „Bewertung von technologischen und stofflichen Alternativen für kohlenstoffbasierte Rohstoffe im Zuge der Rohstoffwende in der deutschen Industrie“ ausgearbeitet. Für die Förderung dieser Nachwuchsforschergruppe wurde ebenfalls ein Projektantrag vorbereitet und im Rahmen der BMBF-Ausschreibung „Nachwuchsgruppen Globaler Wandel – 4+1“ eingereicht. Die Nachwuchsforschergruppe mit dem Akronym STEEP verfolgt einen ganzheitlichen sozio-ökonomisch-ökologischen Ansatz zur Unterstützung der strategischen Entscheidungsfindung und Maßnahmenentwicklung für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen, sicheren und nachhaltigen Rohstoffbasis für die deutsche Industrie. Die einzelnen Schritte der Konzepterstellung für die Nachwuchsforschergruppe sind weiter unten dargestellt.

Hintergrund

Entscheidungsträger aus der Politik und Industrie sehen sich der Herausforderung gegenüber, technologische Innovationen zu fördern, die den Weg für eine CO₂-arme Wirtschaft ermöglichen und gleichzeitig ein kompetitives und stabiles Rohstoffangebot für die nationale Industrie gewährleisten. Bei dieser Aufgabe kommen erschwerende Rahmenbedingungen, wie Klimawandel, die zunehmende Verknappung von Wasser und anderen natürlichen Ressourcen sowie die Globalisierung von Produktion und Handel, hinzu. Zusätzlich verkompliziert, dass besonders in demokratischen Gesellschaften eine transparente und partizipative Entscheidungsfindung erwartet wird. Es können im Falle unzureichender sozialer Akzeptanz für bestimmte Entscheidungen hinsichtlich neuer Technologien und natürlichen Ressourcen signifikante direkte Kosten (z.B. Anstieg an Kosten bedingt durch Verzögerungen, Unterbrechungen und/oder Veränderungen) und indirekte Kosten (z.B. öffentliche Empörung und Verlust an Vertrauen) anfallen. Für ein industrialisiertes und demokratisches Land wie Deutschland sind daher Investitionen in innovative Technologien, die Sicherung der Versorgungsket-

te an Rohstoffen und die Wahrung der gesellschaftlichen Unterstützung für geplante Entwicklungen und Entscheidungen zentrale Themen, mit denen sich die deutsche Industrie und die politischen Entscheidungsträger auseinandersetzen müssen.

Die Entwicklungen im Energie- und Technologiesektor und die Befürchtungen über eine Abhängigkeit von Rohstoffimporten haben zunehmend den Ruf nach einer Abkehr von der ausschließlichen Fokussierung auf die Energiewende lauter werden lassen. Der Fokus sollte zusätzlich auf die Einleitung einer Rohstoffwende gelegt werden. Sowohl das Energie- als auch das Rohstoffsystem sind als große sozio-technische Systeme zu betrachten. Beide bestehen aus miteinander verknüpften „Bausteinen“. Insbesondere die Komplexität des Umfeldes der Entscheidungsträger erschwert es, einen systemischen und fundierten Überblick über die verschiedenen Bestandteile in den jeweiligen nationalen Wertschöpfungsketten zu behalten. Sie erstrecken sich dabei über soziale, technologische, ökonomische sowie politische und ökologische Bereiche.

Fokus

Der Industriesektor ist mit rund 30 % Anteil am nationalen Bruttoinlandsprodukt ein entscheidender Baustein der deutschen Wirtschaft. Führende Kräfte sind dabei Unternehmen aus der Chemie- und Pharmaziebranche, sowie der Automobil-, Stahl- und Metallbranche. Traditionell kommen Erdöl und Erdgas als kohlenstoffhaltige Rohstoffbasis für Kraftstoffe im Transportbereich zur Anwendung. Zudem werden diese auch bei der Herstellung von Grundchemikalien, sogenannten Plattformchemikalien, in den beschriebenen Kernbranchen eingesetzt. Beispiele sind Methanol, Ethylen und synthetisches Erdgas. Diese sind wiederum wesentliche Ausgangsmaterialien für die Produktion von anderen höherwertigen Produkten/Kraftstoffen, wie zum Beispiel Kunststoffen, Düngemittel, pharmazeutische Erzeugnisse und Benzin. Jedoch haben Befürchtungen über mögliche Ressourcenverknappungen so wie die derzeitige Konzentration auf Öl- und Gasreserven in zum Teil politisch instabilen Regionen die Suche nach alternativen Rohstoffen in den verschiedenen Industriebranchen verstärkt. Kohlenstoffhaltige Ressourcen, die zuverlässige alternative Ausgangsrohstoffe für die Produktion von Plattformchemikalien bieten, reichen von Biomasse, Biogas, Agrar- und Holzabfällen, Siedlungsabfällen, bis hin zu Kohle und CO₂. Im Hinblick auf die entscheidende Rolle von Plattformchemikalien/Kraftstoffen für die deutsche Industrie, ergeben sich drei grundlegende Ebenen für die Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft. Sie umfassen die technologische Ebene (1), die Ressourcenkette (2) und die gesellschaftliche Ebene (3). Innerhalb der technologischen Ebene liegt der Fokus auf Innovationen, die eine Steigerung der Effizienz, der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit der Produktion von Plattformchemikalien/Kraftstoffen fördern. Die Ebene der Ressourcenkette erweitert den Blick von einer ausschließlichen Fokussierung auf Technologien/Prozessen um die Einbeziehung der Faktoren innerhalb der Produktionskette wie z. B. die Lage, die Gewinnung, der Transport und die Verarbeitung von Rohstoffen. Die gesellschaftliche Ebene beinhaltet die Sicherstellung der Akzeptanz und der sozialen Unterstützung für die geplanten Lösungsansätze und Entwicklungen. Dies beinhaltet die Informationsvermittlung und Aufklärung der Öffentlichkeit, die gesellschaftliche Wahrnehmung und Akzeptanz gegenüber verschiedenen kohlenstoffbasierten Ressourcen und damit verbundener Infrastrukturen und Technologien. Die drei Bereiche bilden die Schlüsselbausteine für die Einleitung einer Rohstoffwende in der Industrie, denn die industrielle Produktion wird auch in Zukunft auf kohlenstoffhaltige Rohstoffe angewiesen sein.

Zielsetzung

Die interdisziplinäre Forschergruppe hat zum Ziel, die drei genannten Themenaspekte umfassend und interdisziplinär zu untersuchen. Denn diese sind die entscheidenden Bausteine für den Wandel der Rohstoffwirtschaft in Deutschland. Die geplante Forschergruppe beabsichtigt, mithilfe eines systemischen Ansatzes umfangreiche Methoden und Werkzeuge für die technologische Betrachtung und Bewertung der Rohstoffketten alternativer, kohlenstoffhaltiger Rohstoffe für industrielle Produkte mit entsprechendem Mehrwert zu erarbeiten. Dabei soll auf Konzepte und Methoden sowohl aus der Sozialwissenschaft als auch aus anderen, technischen Disziplinen zurückgegriffen werden. Letztendlich ist das Hauptziel,

ein besseres Verständnis des Rohstoffsystems in Form eines sozio-technischen Gebildes zu erlangen. Zudem sollen Empfehlungen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und zu Maßnahmen für den Übergang zu einem wettbewerbsfähigen, CO₂-armen, sicheren und nachhaltigen Rohstoffmanagement in der deutschen Industrie entwickelt werden.

Arbeitsplan

Es sind folgende Arbeitspakete zur Umsetzung der Zielstellung vorgesehen:

AP 1: Technologische Bewertung bestehender und zukünftiger Technologien und Prozesse

Das Arbeitspaket ist auf die Prozessmodellierung im Hinblick auf Weiterentwicklungen und Ausbaumöglichkeiten von gegenwärtigen in der Industrie angewandten Prozessen sowie neuer Technologien ausgerichtet. Damit soll ein unterstützender und komparativer Überblick unter Einbezug aktueller, validierter Daten aus der Wirtschaft und aus wissenschaftlichen Untersuchungen, über Technologien zur Produktion von kohlenstoffhaltigen Produkten und Kraftstoffen geliefert werden. Das Arbeitspaket gliedert sich in folgende Unterpunkte:

- AP 1.1 Überblick über bestehende Produktionswege und eine Vorauswahl relevanter Technologien
- AP 1.2 Entwicklung und Anpassung von Prozessmodellen für mögliche alternative Technologien

AP 2: Bewertung der Ressourcenkette alternativer, kohlenstoffhaltiger Einsatzstoffe

Das Arbeitspaket knüpft an Erkenntnisse aus dem Bereich des Prozess- und Supply-Chain-Managements an. Dies bietet die Möglichkeit, durch Einbeziehung der Produktionskette vorgelagerter Faktoren, wie zum Beispiel Lage, Gewinnung, Raffination, Transport und Verarbeitung, den Betrachtungshorizont zu erweitern. Zusätzlich wird für eine systemische Einschätzung der Produktionsketten ein Lebenszyklus-Ansatz angewendet. Dadurch kann die technologische Bewertung, wie auch die Analyse anderer Aspekte des Rohstoffsystems als groß-soziotechnisches System erfolgen. Es ergeben sich folgende Arbeitspunkte:

- AP 2.1 Definition des technologischen Rahmens, Entwicklung von Prozessketten
- AP 2.2 Technologische Bewertung
- AP 2.3 Ökonomische Bewertung
- AP 2.4 Ökologische Bewertung
- AP 2.5 Politische Bewertung
- AP 2.6 Soziale Bewertung

AP 3: Wahrnehmung, Akzeptanz und Wissenstand innerhalb der Gesellschaft über alternative kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe

Der Fokus liegt auf der menschlichen Komponente des Energie- und Rohstoffsystems. Ziel ist es, sowohl Informationen für Entscheidungsträger bereitzustellen als auch die frühzeitige Entwicklung von effektiven Maßnahmen zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Übergangstechnologien zu unterstützen. Damit eine Praxisrelevanz, sowie realistische und einfache Lösungsvorschläge gewährleistet werden können, wird ein partizipatorisches Design innerhalb des Projektes angewandt. Dies umfasst die Einbeziehung von Schlüsselakteuren und potentiellen Begünstigten. Somit kann das Projekt unterstützend für die strategische Entscheidungsfindung, wie auch für Problemlösungen, wirken. Das Arbeitspaket umfasst folgende Punkte:

- AP 3.1 Interessengruppe aus der Ressourcenwirtschaft
- AP 3.2 Faktoren der Rohstoffwahrnehmung und Entscheidungsfindung
- AP 3.3 Systemischen „Lock-In“ und Herausforderungen bei einer Rohstoffwende

AP 4: Entwicklung von Maßnahmen

Im Arbeitspaket steht die Bereitstellung von praktischen Empfehlungen für Maßnahmen im Bereich der Bildung und des sozialen Engagements im Vordergrund. Zusätzlich werden Entscheidungswerkzeuge für die Unterstützung praxisrelevanter, strategischer Fragestellungen entwickelt. Dafür wird auf validierte Ergebnisse aus der Forschung zurückgegriffen. Das Arbeitspaket umfasst zwei Teilbereiche:

- AP 4.1 Maßnahmen im Bereich der Bildung und des sozialen Engagement

- AP 4.2 Entscheidungswerkzeuge

Arbeitspaket 5: Projektmanagement

Das Arbeitspaket beschäftigt sich mit Themen zum Projektmanagement. Hierfür kann auf Erfahrungen aus der Forschung am Deutschen EnergieRohstoff-Zentrum (DER) zurückgegriffen werden. Dieses Projekt wurde durch das BMBF finanziert. Es befasste sich mit der Untersuchung von Methoden und Ansätzen zur Gewährleistung eines nachhaltigen Erfolges von interdisziplinären und Triple-Helix Projekten in der Forschung. Dies zeigte wie wichtig und wertvoll eine explizite Integration von Aspekten des Projektmanagements in den Projektplan ist. Generell wird dadurch ein effizientes Zeit- und Ressourcenmanagement innerhalb des jeweiligen Projektes, mit den Bereichen Projektkoordination, Forschung und Entwicklung sowie Netzwerkerweiterung und Ergebnisveröffentlichung sichergestellt. Im Mittelpunkt des Arbeitspaketes stehen die umfassenden Aspekte für den Aufbau und die Konsolidierung einer Forschungsgruppe. Es ergeben sich folgende zwei Arbeitspakete:

- AP 5.1 Projektkoordination
- AP 5.2 Qualifikation, Bildung von Netzwerken und Veröffentlichung der Ergebnisse

Analyse- und Bewertungsmethoden

Die Forschungsgruppe wird auf Methoden und Konzepte sowohl aus den Sozialwissenschaften und Ingenieurwissenschaften als auch anderen Disziplinen wie z. B. Entscheidungsfindung und Ressourcenmanagement zurückgreifen. Bei der Untersuchung von technologischen und wissenschaftlichen Entwicklungen, die zu einer kohlenstoffärmeren Wirtschaft führen und einen nachhaltigen Übergang innerhalb des Energie- und Ressourcensystems unterstützen könnten, nutzt die Arbeitsgruppe einen systemischen Ansatz. Dieser umfasst u. a. folgende Methoden:

- Energie- und Stoffstromanalysen, Prozesssimulationen und Wirtschaftlichkeitsbewertungen (z.B. mit der Prozesssimulationssoftware ASPEN Plus)
- Ökobilanzierung (LCA) sowie Sozialbilanzierung (sLCA)
- Supply-Chain-Risikobewertung
- Psychometrische Analysen
- Interviewverfahren

Organisation und Infrastruktur

Das IEC verfügt über ein ausgeprägtes Forschungs- und Entwicklungsprofil, mit Tätigkeiten in verschiedenen wissenschaftlichen Gebieten. Ein besonderer Fokus liegt auf den Bereichen der Synthesegas-Technologien, kohlenstoffarmen Technologien sowie der Prozesskettenentwicklung. Neben der fachlichen und technischen Expertise verfügt das IEC über eine Vielzahl an Laboreinrichtungen und umfangreiche Pilotanlagen. Darüber hinaus kann das Institut auf ein ausgedehntes Netzwerk an internationalen Vertretern aus der Forschung sowie der Industrie zurückgreifen, die das Nachwuchsforscherteam durch fachlichen Input und entsprechendes Feedback unterstützen können. Da das IEC Organisator und Veranstalter der „International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies“ ist und darüber hinaus Intensiv-Schulungen für Vergasungstechnologien veranstaltet, bietet das Institut noch eine weitere einzigartige Möglichkeit für die Forschungsgruppe. So können die Wissenschaftler für den Erfahrungsaustausch mit Experten und Interessenvertreter aus der Politik, der Industrie und der Wissenschaft auf eine bereits etablierte und funktionierende Plattform aufbauen.

Konzipierung der Umsetzungsphase

In Abb. 30 ist der geplante Arbeits- und Zeitplan der zukünftig am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen der TU Bergakademie Freiberg zu etablierenden Nachwuchsforschergruppe dargestellt.

Nummer und Beschreibung der jeweiligen Arbeitspakete (AP)	4 MM	1				2				3				4				Jahr 5 MM	5			
		Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4												
AP 1: Technologische Bewertung bestehender und erfolgsversprechender Technologien und Prozesse																						
AP 1.1 Überblick über bestehende Produktionswege und eine Vorauswahl von relevanten Technologien	6																					
AP 1.2 Entwicklung und Anpassung von Prozessmodellen für alternative Technologien	14							1														
AP 2: Bewertung der Ressourcenkette von alternativen kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen																						
AP 2.1 Definition eines technologischen Rahmens und die Entwicklung von Prozessketten	12																					
AP 2.2 Technologische Bewertung	6																					
AP 2.3 Ökonomische Bewertung	14													2						3		
AP 2.4 Ökologische Bewertung	14																			3		
AP 2.5 Politische Bewertung	8																					
AP 2.6 Soziale Bewertung	8																					
AP 3: Wahrnehmung, Akzeptanz und Wissenstand innerhalb der Gesellschaft über alternative kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe und damit verbundener Technologien und																						
AP 3.1 Interessengruppen aus der Ressourcenwirtschaft	10									3										6		
AP 3.2 Faktoren der Rohstoffwahrnehmung und Entscheidungsfindung	8																			1		
AP 3.3 Systemisches „Lock-in“ und Herausforderungen bei einer Rohstoffwende	8																			1		
AP 4: Maßnahmenentwicklung																						
AP 4.1 Maßnahmen im Bereich der Bildung und des sozialen Engagement	12																			2		
AP 4.2 Entscheidungswerkzeuge	4																			15		
AP 5: Projektmanagement																						
AP 5.1 Projektkoordination	8																			2		
AP 5.2 Qualifikation, Bildung von Netzwerken und Ergebnisveröffentlichung	12																			3		
Total MM	144																				36	

Abbildung 30: Arbeits- und Zeitplanung für die Nachwuchsforschergruppe STEEP

Status der Beantragung

Für den Projektantrag zur Einrichtung der Nachwuchsforschergruppe STEEP im Rahmen des BMBF-Programms „Nachwuchsgruppen Globaler Wandel – 4+1“ wurde eine Förderung aus öffentlichen Mitteln in Höhe von rund 2,0 Mio. EUR bewilligt. Das Vorhaben mit einer Gesamtlauzeit von 5 Jahren wird voraussichtlich im September 2017 starten.

7 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises und Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

In der folgenden Übersicht werden die tatsächlichen Ausgaben dem Finanzierungsplan des vorliegenden Vorhabens gegenübergestellt.

Tabelle 3. Gegenüberstellung des Finanzierungsplans des Vorhabens und der tatsächlichen Ausgaben in EUR

Position	Finanzierungsplan	Ausgaben
0812 (Wissenschaftler)	646.190,00	683.095,51
0822 (Beschäftigungsentgelte)	17.606,00	5.487,18
0835 (Vergabe von Aufträgen)	25.000,00	2.684,84
0846 (Dienstreisen)	5.800,00	2.400,40
Gesamt	694.596,00	693.667,93

In der Position 0812 kam es zu Mehrausgaben, die aber durch Einsparungen in den Positionen 0822, 0835 und 0846 gedeckt wurden. Insgesamt gab es im Projekt Minderausgaben von 1.113,69 € (inkl. Projektpauschale). Diese Differenz wurde an den Projektträger zurücküberwiesen.

Die Mittel wurden vorrangig für den Aufbau der Organisationsstrukturen des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON und die Wahrnehmung von Managementaufgaben verwendet. Es handelt sich überwiegend um Personalausgaben (Mitarbeiter in der operativen Leitung des IIC-Forums) sowie Ausgaben für die Veranstaltungsorganisation.

Die Managementaufgaben schließen ein:

- Identifizierung dringender Fragestellungen seitens der Wirtschaftspartner im IIC-Forum (Werkzeug – Durchführung der Delphi-Studien)
- Entwicklung vielversprechender Technologieansätze aus dem Initialkonzept INNOVATION IN CARBON bis zur ausformulierten Projektidee (Werkzeug – Erstellung von Projektsteckbriefen)
- Vorbereitung konkreter Verbundvorhaben von der Projektanbahnung und der Zusammenstellung des Projektkonsortiums bis zur Vorbereitung und Einreichung von Projektanträgen im Rahmen bestehender Förderprogramme (EU, Bund, Länder)

Der Nutzen der Managementdienstleistungen der IIC-Forumsleitung für die Mitglieder des Forums manifestiert sich in der starken finanziellen Beteiligung der Wirtschaft an Verbundvorhaben, die vom IIC-Forum initiiert und begleitet wurden.

8 Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

Die Ressourcenplanung wurde vollständig umgesetzt. Der Personal- und Mitteleinsatz erfolgte zielorientiert war an der ursprünglichen Arbeitsplanung des vorliegenden Vorhabens ausgerichtet. Die definierten Zielstellungen des Projekts wurden erreicht.

Somit ist die geleistete Arbeit zum Erreichen der Projektziele als notwendig und angemessen zu bewerten.

9 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Verwertung der im Projekt erzielten Ergebnisse steht im Zusammenhang mit der übergeordneten Zielsetzung des Vorhabens.

Das Anliegen des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON bestand darin, die Ideen und Konzepte aus dem Initialkonsortium aufzugreifen und zu neuen Lösungen für innovative, wettbewerbsfähige Technologien für die Low Carbon Economy weiterzuentwickeln. Die Umsetzung technologischer Innovationen, in Form von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen, ist eine der Kernaufgaben der in das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON eingebundenen Unternehmen. Typisch für das IIC-Forum war die Fokussierung auf eine themen- und projektbezogene Arbeitsweise. Dabei wurde eine ganze Reihe von besonders vielversprechenden Technologieansätzen und Themenstellungen aus dem Initialkonsortium aufgegriffen und bis zur praktischen Umsetzung in Form von Verbundvorhaben unter Beteiligung von Forumsmitgliedern aus der Wissenschaft und Wirtschaft geführt. Für zahlreiche Projekte wurde eine Finanzierung außerhalb der Förderung im Zwanzig20-Programm eingeworben. Diese Erfolgsgeschichte des IIC-Forums soll nun weitergeführt werden, indem sich das Forum an der Entwicklungsphase und der großtechnischen Demonstration der ausgearbeiteten LCE-Technologien beteiligt und im Anschluss an die abgeschlossenen FuE-Arbeiten den Markteintritt für die neuen Technologien vorbereitet und unterstützt.

Eine zentrale Rolle bei der Verwertung der Ergebnisse des Projekts wird die Umsetzung der geplanten Technologieplattform am Chemiestandort Leuna spielen. Diese Technologieplattform wird der großtechnischen Demonstration von innovativen Technologien zur Einkopplung erneuerbarer Energie in kohlenstoffbasierte Konversionsprozesse (Power-to-X) unter realistischen, industrienahen Einsatzbedingungen dienen. In einem ganz besonderen Maße wird diese Technologieplattform von den starken Synergieeffekten der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rahmen des Zwanzig20-Forums INNOVATION IN CARBON und des Zwanzig20-Konsortiums HYPOS profitieren. Das HYPOS-Konsortium widmet sich intensiv den wichtigsten Themenstellungen der wirtschaftlichen Erzeugung und chemische Speicherung von strombasiertem „grünen“ Wasserstoff. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen dem IIC-Forum und dem HYPOS-Konsortium wird die technologische Brücke zwischen der Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft und der auf der Nutzung von erneuerbaren Energien basierenden Wasserstoff-Wirtschaft geschlagen.

Das Konzept für die Technologieplattform und das darauf basierende Demonstrationszentrum wurde von den beteiligten Akteuren aus dem IIC-Forum und dem HYPOS-Konsortium sowie weiteren, mit ihnen verbundenen Partnern aus der Wissenschaft und Wirtschaft bereits detailliert erarbeitet. Es sieht vor, das am Standort Leuna ein Technologiecluster mit einem jährlichen Einsatz bis zu 25.000 Tonnen kohlenstoffhaltiger Rohstoffe (Braunkohle, Kunststoffabfälle, Industrieabfälle, biogene C-haltige Rohstoffe, perspektivisch CO₂ aus prozessbedingten und biogenen Quellen sowie atmosphärisches CO₂) errichtet wird. Das Demonstrationszentrum wird vollständig in den energetischen und stofflichen Verbund des Chemie-Standorts integriert, die erzeugten Produkte werden in der Standort-Infrastruktur genutzt. Das Zusammenspiel von weiterentwickelten und innovativen Technologien mit neuen Rohstoffen soll untersucht und erprobt werden. Im Ergebnis der Demonstration werden technisch, wirtschaftlich und ökologisch belastbare Kenntnisse für die Auslegung und den wirtschaftlichen Betrieb der späteren Großtechnik für LCE-Technologien für die CO₂-emissionsarme Sektorkopplung vorliegen. Mit dem Beginn der Tätigkeiten zur Errichtung der Technologieplattform am Standort Leuna wird Anfang-Mitte 2018 gerechnet.

Das langfristige Ziel der Verwertungsstrategie für das vorliegende Projekt ist die Verstärkung des aufgebauten Netzwerkes weit über den Förderzeitraum hinaus. Das IIC-Forum soll sich nachhaltig als eine wirksame Innovationsstruktur für die Konzipierung, Entwicklung und Umsetzung neuer LCE-Technologien mit einer großen Anziehungskraft für Unternehmen der Energie- und Rohstoffwirtschaft etablieren.

10 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens

Dem Zuwendungsempfänger sind während der Projektlaufzeit keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

11 Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Veröffentlichung der Ergebnisse des durchgeführten Projekts fand u.a. auf nationalen und internationalen Konferenzen sowie in Fachzeitschriften und Fachbüchern statt. Die folgende Veröffentlichungsliste ist in Publikationen in Fachzeitschriften und Fachbüchern sowie in Konferenzbeiträge unterteilt.

Publikationen (peer reviewed)

Nr.	Autoren, Titel, Journal	Jahr
Pub1	Lee RP, Wolfersdorf C, Keller F, Meyer B. <i>Towards a closed carbon cycle and achieving a circular economy for carbonaceous resources</i> . Oil Gas European Journal, 2017, 43, 76-80	2017
Pub2	Forman C, Gootz M, Wolfersdorf C, Meyer B. <i>Coupling power generation with syngas-based chemical synthesis</i> . Applied Energy, 2017, 198, 180-191	2017
Pub3	Wolfersdorf C, Boblenz K, Pardemann R, Meyer B. <i>Syngas-based annex concepts for chemical energy storage and improving flexibility of pulverized coal combustion power plants</i> . Applied Energy, 2015, 156, 618-627	2015
Pub4	Gutte H, Schiffer L, Meyer B. <i>Nachhaltigkeitsstrategien für eine CO₂-arme Wirtschaft</i> . Journal der Sächsischen Akademie der Wissenschaft, 2015, 13, 115-138	2015

Konferenzbeiträge

Nr.	Autoren, Titel, Konferenz	Jahr
Conf1	Lee RP, Wolfersdorf C, Keller F, Meyer B. <i>A closed carbon cycle through sector coupling? Challenges posed by path dependency in the socio-technical system</i> . Clean Coal Technologies Conference, Cagliari, 8-12.05.2017	2017
Conf2	Meyer B, Wolfersdorf C, Keller F, Lee RP, Laugwitz A. <i>Anforderungen an die Technologien zur stofflichen Nutzung von Braunkohle als Baustein der Energiewende – vollständige Schließung des C-Kreislaufs durch CO₂-emissionsfreie Kohlechemie</i> . DGMK-acatech Workshop, Berlin, 19.10.2016	2016
Conf3	Keller F, Wolfersdorf C, Meyer B. <i>Environmental and economic evaluation of the production of organic platform chemicals from different feedstock</i> . International Pittsburgh Coal Conference, Cape Town, 8-12.08.2016	2016
Conf4	Boblenz K, Mädlow A, Uebel K, Forman C, Wolfersdorf C, Meyer B. <i>Vereinfachtes Systemmodell der Elektroenergieversorgung Deutschlands zur Beurteilung von flexiblen Kraftwerkskonzepten</i> . 48. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 18-19.10.2016	2016
Conf5	Lee RP, Keller F, Schiffer L, Meyer B. <i>Evaluation of resource alternatives as carbon feedstock for the production of platform chemicals: Eco-efficiency considerations and challenges associated with diverse boundary conditions</i> . 8. International Freiberg Conference, Cologne, 12-16.06.2016	2016

Conf6	Schiffer L, Lee RP, Keller F, Meyer B. <i>Grand Challenges der Energie- und Rohstoffwende in Deutschland – Optionen, Potenziale und Konfliktfelder am Beispiel von Plattformchemikalien</i> . 8. Internationale Konferenz des Netzwerks Technologiefolgeabschätzung (NTA), Bonn, 16-18.11.2016	2016
Conf7	Forman C, Gootz M, Wolfersdorf C, Meyer B. <i>Coupling of power generation with syngas-based chemical synthesis</i> . 8. International Freiberg Conference, Cologne, 12-16.06.2016	2016

Buchkapitel

Nr.	Autoren, Titel, Buch	Jahr
Buch1	Roh PL, Schiffer L, Meyer B. <i>Vermarktung der Leistungen von Forschungsk Kooperationen</i> . In: Krzack S, Meyer B. (Eds.). <i>Stoffliche Nutzung von Braunkohle</i> . Springer Verlag, in Druck	2017
Buch2	Roh PL, Reinhardt R, Keller F, Gurtner S, Schiffer L. <i>A raw material transition from a low-carbon economy: challenges and opportunities for management in addressing the trilemma of competitiveness, supply security and sustainability</i> . In: Georg G, Schilebeeck SJD (Eds.). <i>Managing Natural Resources: Organizational Strategy, Behaviour and Dynamics</i> . Edward Elgar Publishing, London, 2017	2017

12 Literaturverzeichnis

- [1] BMFT (Hrsg.). 1993. *Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik*. Bonn, 1993, 651 S
- [2] BMBF (Hrsg.). 1996. *Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik - Mini-Delphi*. Bonn, 1996, 206 S.
- [3] BMBF (Hrsg.). 1998. *Delphi98 – Umfrage: Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik*. Bonn, 1998.
http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-px-45392-19.pdf
- [4] Häder M, Häder S. 2000. *Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften*. Westdeutscher Verlag Wiesbaden, 2000
- [5] Pardemann R. 2013. *Stoff-Kraft-Kopplung in kohlebasierten Polygenerationskonzepten*. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg
- [6] Bertau M, Offermanns H, Plass L, Schmidt F, Wernicke HJ (Hrsg.). 2014. *Methanol. The basic chemical and energy feedstock of the future*. Springer, Heidelberg
- [7] Häring HW. 2008. *Industrial gases processing*. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Weinheim
- [8] Higman C, van der Burgt M. 2008. *Gasification*. 2nd ed. Amsterdam, Boston: Gulf Professional Pub/Elsevier Science
- [9] Krzack S, Stahlschmidt R, Boblenz K, Meyer B. 2010. *Ermittlung spezifizierter Kosten und ökologischer Auswirkungen der Erzeugung von BtL-Kraftstoffen und Biogas*. TU Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. Abschlussbericht, Förderkennzeichen: 22019706.
- [10] Schiffer L, Gutte H, Meyer B. 2014. *Ausgewählte Aspekte der Rohstoffgewinnung - Ein Vergleich zwischen Braunkohle und nachwachsenden Rohstoffen*. Chemie Ingenieur Technik 86, 1690–1695
- [11] Flaig H, Mohr H (Hrsg.). 2011. *Energie aus Biomasse: eine Chance für die Landwirtschaft*. Springer, Berlin, Heidelberg
- [12] Rödl A. 2008. *Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb*. Braunschweig. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, 2008/03
- [13] Patrick T, Moseley (Hrsg.). 2014. *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Hydrogen Production from Renewable Energies-Electrolyzer Technologies: Elsevier
- [14] Joo OS, Jung KD, Yonsoo J. 2004. *CAMERE Process for methanol synthesis from CO₂ hydrogenation*. Proceedings of 7th the International Conference on Carbon Dioxide Utilization, Bd. 153: Elsevier (Studies in Surface Science and Catalysis), S. 67–72.
- [15] Peters MS, Timmerhaus KD, West RE. 2003. *Plant design and economics for chemical engineers*. 5th ed. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill chemical engineering series)
- [16] US Department of Energy (Hrsg.). 2012. *Quality Guidelines for Energy Systems Studies. Fuel Prices for Selected Feedstocks in NETL Studies*. National Energy Technology Laboratory
- [17] DEBRIV Bundesverband Braunkohle (Hrsg.). 2015. *Braunkohle in Deutschland 2015. Profil eines Industriezweiges*.
- [18] Fachagentur nachwachsende Rohstoffe FNR (Hrsg.). 2013. *Bioenergie die vielfältige Energie*. 5. Auflage. Gülzow
- [19] Prognos (Hrsg.). 2012. *Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende*
- [20] <http://startup4climate.de/wp-content/uploads/2013/11/Pressemitteilung-24-09-2013.pdf>
- [21] <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende-im-Gebaeudebereich/anreizprogramm-energieeffizienz.html>
- [22] UBA_Umweltbundesamt. 2016. *Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgases in Deutschland nach Kategorien in Tsd.t Kohlendioxid-Äquivalenten*
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/8_tab_thg-emi-kat_2016-01-20.pdf
- [23] dena Deutsche Energie-Agentur. 2012. *Integration der erneuerbaren Energien in den deutsch-europäischen Strommarkt*
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/Endbericht_

Integration_EE.pdf

- [24] Quadrelli E, Centi G, Duplan J, Perathoner S. 2011. *Carbon dioxide recycling: emerging large-scale technologies with industrial potential*. *Chemistry & Sustainability* 4, 1194–1215

13 Anhang

Anlage 1

Aufstellung der am Zwanzig20-Initialkonsortium und am Zwanzig20-Forum beteiligten Partner

Tabelle A1-1. Liste der Mitglieder des Initialkonsortiums und des Forums (Teil 1)

Forumsmitglied (Name der Organisation)	Organisationsart	Ost/West	Standort	Mitglied im Initialkonsortium	Mitglied im Forum
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH	Forschungseinrichtung	Ost	Leipzig	ja	ja
Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologien	Forschungseinrichtung	Ost	Freiberg	ja	ja
Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme	Forschungseinrichtung	Ost	Dresden	ja	ja
Fraunhofer Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen	Forschungseinrichtung	Ost	Halle	nein	ja
Sächsische Akademie der Wissenschaften	Forschungseinrichtung	Ost	Leipzig	nein	ja
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung	Forschungseinrichtung	Ost	Leipzig	ja	nein
isw gGmbH	Forschungseinrichtung	Ost	Halle	ja	nein
Karlsruher Institut für Technologie	Forschungseinrichtung	West	Karlsruhe	ja	ja
TU Bergakademie Freiberg	Hochschule	Ost	Freiberg	ja	ja
TU Dresden	Hochschule	Ost	Dresden	nein	ja
Martin-Luther-Universität Halle	Hochschule	Ost	Halle	ja	ja
Universität Rostock	Hochschule	Ost	Rostock	ja	ja
Friedrich-Schiller-Universität Jena	Hochschule	Ost	Jena	ja	ja
BTU Cottbus	Hochschule	Ost	Senftenberg	ja	ja
Fachhochschule Merseburg	Hochschule	Ost	Merseburg	ja	nein
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde	Hochschule	Ost	Eberswalde	ja	nein
Karlsruher Institut für Technologie	Hochschule	West	Karlsruhe	ja	ja
TU Kaiserslautern	Hochschule	West	Kaiserslautern	ja	nein
Lausitz Energie Kraftwerke AG	GU	Ost	Cottbus	ja	ja
MIBRAG GmbH	GU	Ost	Zeit	ja	ja
Linde Engineering Dresden GmbH	GU	Ost	Dresden	ja	ja
ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH	GU	Ost	Eisenhüttenstadt	ja	ja
Nickelhütte Aue GmbH	GU	Ost	Aue	ja	ja
Verbundnetz Gas AG	GU	Ost	Leipzig	ja	nein
Stadtwerke Halle GmbH	GU	Ost	Halle	ja	nein
Total Raffinerie Mitteldeutschland GmbH	GU	Ost	Leuna	nein	ja
InfraLeuna GmbH	GU	Ost	Leuna	ja	ja
BASF SE	GU	West	Ludwigshafen	ja	ja
RWE Power AG	GU	West	Essen	ja	ja
ThyssenKrupp Industrial Solutions AG	GU	West	Essen	nein	ja
Outotec GmbH	GU	West	Oberursel	nein	ja
Volkswagen AG	GU	West	Wolfsburg	nein	ja
Audi AG	GU	West	Ingolstadt	nein	ja
Shell Global Solutions Deutschland GmbH	GU	West	Hamburg	nein	ja
Bayer MaterialScience AG	GU	West	Leverkusen	ja	nein
Aurubis AG	GU	West	Lünen	ja	nein
TRIMET ALUMINIUM AG	GU	West	Essen	ja	nein
Hydro Aluminium Rolled Products GmbH	GU	West	Grevenbroich	ja	nein
Romonta GmbH	KMU	Ost	Amsdorf	ja	ja
Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH	KMU	Ost	Chemnitz	ja	ja
UVR-FIA GmbH Freiberg	KMU	Ost	Freiberg	ja	ja
TAF GmbH	KMU	Ost	Freiberg	nein	ja
UTF GmbH	KMU	Ost	Brand-Erbisdorf	nein	ja
IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH	KMU	Ost	Freiberg	nein	ja
Clean Carbon Solutions GmbH	KMU	Ost	Berlin	nein	ja
hycells UG	KMU	Ost	Wernigerode	nein	ja
Kunststofftechnik Weißbach GmbH	KMU	Ost	Gornau	nein	ja
Möbelbau Sayda GmbH	KMU	Ost	Sayda	nein	ja
bse Engineering Leipzig GmbH	KMU	Ost	Leipzig	ja	ja
Novihum Technologies GmbH	KMU	Ost	Dresden	nein	ja
Sunfire GmbH Dresden	KMU	Ost	Dresden	ja	ja
GfE Fremat GmbH Freiberg	KMU	Ost	Freiberg	ja	ja
VKK Standardkessel Köthen GmbH	KMU	Ost	Köthen	ja	ja
ed energie.depot GmbH	KMU	Ost	Radeberg	ja	ja
SunCoal Industries GmbH Ludwigsfelde	KMU	Ost	Ludwigsfelde	ja	ja
engage AG Rostock	KMU	Ost	Rostock	ja	ja
SAXEED Freiberg	KMU	Ost	Freiberg	ja	ja
Univations GmbH Halle	KMU	Ost	Halle	ja	ja
IMCG Ingenieur- und Management-Consulting	KMU	Ost	Berlin	nein	ja
Doppelacker GmbH	KMU	Ost	Petershagen	nein	ja

Tabelle A1-2. Liste der Mitglieder des Initialkonsortiums und des Forums (Teil 2)

Forumsmitglied (Name der Organisation)	Organisationsart	Ost/West	Standort	Mitglied im Initialkonsortium	Mitglied im Forum
ABB Automation GmbH	KMU	Ost	Leipzig	ja	nein
EPC Engineering Consulting GmbH	KMU	Ost	Leuna	ja	nein
E.S.C.H. Engineering Service GmbH	KMU	Ost	Unterwellenborn	ja	nein
FAM GmbH	KMU	Ost	Magdeburg	ja	nein
Hug Engineering GmbH	KMU	Ost	Magdeburg	ja	nein
JENOPTIK Katasorb GmbH	KMU	Ost	Jena	ja	nein
TAKRAF GmbH	KMU	Ost	Leipzig	ja	nein
Von Ardenne Anlagentechnik GmbH	KMU	Ost	Dresden	ja	nein
ITEC Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH	KMU	Ost	Elsterwerda	ja	nein
PBW - Planungsbüro Wahlbuhl	KMU	Ost	Naumburg	ja	nein
Schoppe & Dr. Anton GbR	KMU	Ost	Erfurt	ja	nein
Schwab-Klimatechnik	KMU	Ost	Kölleda	ja	nein
Berliner Stadtreinigungsbetriebe	KMU	Ost	Berlin	ja	nein
Stadtreinigung Leipzig	KMU	Ost	Leipzig	ja	nein
Anna & Franz-Christoph Michel GbR	KMU	Ost	Templin	ja	nein
Artec Biotechnologie GmbH	KMU	Ost	Bad Königshofen	ja	nein
FNE Entsorgungsdienste GmbH	KMU	Ost	Freiberg	ja	nein
Loser Chemie GmbH	KMU	Ost	Zwickau	ja	nein
TPL GmbH	KMU	Ost	Frankfurt/Oder	ja	nein
CERA System Verschleißschutz GmbH	KMU	Ost	Hermisdorf	ja	nein
Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik e.V.	KMU	Ost	Meinsberg	ja	nein
P-D Refractories GmbH	KMU	Ost	Wilsdruff	ja	nein
Sulzer Metco Coatings GmbH	KMU	Ost	Weißborn	ja	nein
ZIROX - Sensoren und Elektronik GmbH	KMU	Ost	Greifswald	ja	nein
IHU GmbH	KMU	Ost	Nordhausen	ja	nein
TSB Innovationsagentur Berlin GmbH	KMU	Ost	Berlin	ja	nein
AVA-CO2 Forschungs GmbH	KMU	West	Karlsruhe	ja	nein
Envirotherm GmbH	KMU	West	Essen	nein	ja

Tabelle 3. Gegenüberstellung des Finanzierungsplans des Vorhabens und der tatsächlichen Ausgaben in EUR

	Initialkonsortium	Forum
Mitglieder insgesamt	67	49
davon		
Hochschule/Forschungseinrichtung	14	12
Großunternehmen	14	14
KMU	39	23
davon		
Ost	57	40
West	10	9

Anlage 2

Vom Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON ausgearbeitete Projektsteckbriefe



(1) Abwasserwärmerückgewinnung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenschule der Welt

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> Abschätzung energetischer und wirtschaftlicher Potenziale einer Wärmerückgewinnung aus kommunalen/ bergbaulichen Abwässern im Freistaat Sachsen Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> Handlungsoptionen für neue Wertschöpfungsketten Diversifizierung Energiemix Bezug zum Zwanzig20-Ansatz Low Carbon Economy 	<ul style="list-style-type: none"> Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> Partner aus der Wissenschaft Kompetenzen: Potenzialanalyse, SWOT Partner aus der Wirtschaft <ul style="list-style-type: none"> Kompetenzen: Anwenderorientierte Systemlösungen Alleinstellungsmerkmale des Konsortiums <ul style="list-style-type: none"> quantitative Indikatoren der Alleinstellung 	<ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. B. Meyer (TUBAF) Dr. L. Schiffer (SAWR)
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> Anlagentechnik ausgereift, steht an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> bisher weitgehend ungenutzte Energieressource, Schließen von Energiekreisläufen 	<ul style="list-style-type: none"> Konkurrenzsituation <ul style="list-style-type: none"> Unter derzeitigen Marktbedingungen bisher ökonomisch schwer darstellbar Abwasserwärmenutzung als Energiepotenzial kaum wahrgenommen Notwendigkeit der Förderung (hohes Risiko für die Wirtschaft) 	<ul style="list-style-type: none"> 01.01.2016 – 31.12.2017 (geplant)
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand/Entwicklungstendenzen Möglichkeiten/ Grenzen der Abwasserwärmerückgewinnung Analyse der Standortbedingungen Potenzial- und SWOT-Analyse Bewertung des Marktpotenzials, Technologie-Transfermöglichkeiten, Bedingungen für Markteintritt 	<ul style="list-style-type: none"> AP 1: Analyse des Standes und der Entwicklungstendenzen der Wärmerückgewinnung aus kommunalen/ bergbaulichen Abwässern AP 2: Analyse der Standortbedingungen im Freistaat Sachsen AP 3: Abschätzung des theoretischen und praktisch nutzbaren Wärmepotenzials AP 4: Bestimmung der Rahmenbedingungen unter denen Nutzung nachhaltig realisiert werden kann 	<ul style="list-style-type: none"> 1,5 WMA
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Beitrag zur Nachwuchssicherung
<ul style="list-style-type: none"> Was sind die Produkte des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> Konzepte zur Wärmerückgewinnung aus Abwässern im Freistaat Sachsen Entwicklung von Handlungsoptionen zur Abwasserwärmerückgewinnung Vorbereitung eines Forschungsantrages beim BMBF 	<ul style="list-style-type: none"> Wer ist für die Verwertung/Markteinführung zuständig? <ul style="list-style-type: none"> Anlagenhersteller/Abwasserzweckverbände/ Bergbauunternehmen Entwicklung von Geschäftsmodellen Erfolgsaussichten des Vorhabens darstellen 	<ul style="list-style-type: none"> Projektbudget EUR 129.000



(2) Niedertemperaturwärmerückgewinnung mittels ionischer Flüssigkeiten



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenschule der Welt

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> Effiziente Niedertemperaturwärmerückgewinnung Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> Gesamtsystem aus Wärmeträger und Wärmetauscher Ist das neu? <ul style="list-style-type: none"> Ionische Flüssigkeiten mit Nanopartikeln als Wärmeträger und andererseits als Arbeitsmedien für Wärmepumpen Bezug zum Zwanzig20-Ansatz Low Carbon Economy, Effizienz, Flexibilisierung 	<ul style="list-style-type: none"> Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> Partner aus der Wissenschaft <ul style="list-style-type: none"> Kompetenzen: Bestimmung thermischer Eigenschaften von ionischen Flüssigkeiten, technischer Wärmetransferprozesse Partner aus der Wirtschaft <ul style="list-style-type: none"> Kompetenzen: Produktion und Vertrieb von prozessspezifischen Wärmerückgewinnungssystemen sowie ionischen Flüssigkeiten Alleinstellungsmerkmale des Konsortiums: <ul style="list-style-type: none"> Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette 	<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaft Prof. Dr. B. Meyer (TUBAF), Prof. Dr. S. P. Verekin (U Rostock), Hr. M. Reinmüller (TUBAF, Koordinator) Industrie: 4 Partner aus den Bereichen Wärmerückgewinnungssysteme und Hersteller ionischer Flüssigkeiten
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> Einsatz von Thermooilen oder Wasser/Glykol-Gemischen für die Niedertemperaturrückgewinnung Beimischung von Nanopartikeln verbessert thermischen Transport Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> Neuartige Lösungen für kombinierte Funktionen wie z.B. parallele Kühlung und Schmierung von Maschinenteilen Kompetenzen: Hinreichende Erfahrungen aller Partner auf dem jeweiligen Thema, Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette 	<ul style="list-style-type: none"> Konkurrenzsituation durch bisherige, nicht effiziente Technologie gegeben Vollständige Neuentwicklung von Wärmeträgerfluiden und korrosionsresistenten Werkstoffen Risiko aufgrund des Einsatzes von neuen Materialien mit neuen Prozessparametern und unbekanntem Langzeitverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> 01.09.2015 – 31.08.2019
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand der Technik/Patentanalyse Produkt- und Technologiegestaltung: Auslegung/Design, Effizienz, Flexibilität Neue Wertschöpfungsketten durch neue Kombinationen von Nutzungsmöglichkeiten Optimierung von Werkstoffkombinationen aus Wärmeträgerfluid und Wärmetauschermaterial anhand eines Parameterkataloges Bewertung des Marktpotenzials und Technologietransfermöglichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> AP 1: Vorauswahl Wärmeträgerflüde und experimentelle Bestimmung von physikalisch-chemischen Eigenschaften und Langzeitstabilitäten AP 2: Synthese neuer, thermischer ionischer Flüssigkeiten und Eigenschaftsmodifizierung mittels Nanopartikeln AP 3: Bestimmung und Verbesserung des Wärmeübergangskoeffizienten und Anpassung des Wärmetauschersdesigns AP 4: Korrosionsschutz von metallischen Wärmetauschergrenzflächen AP 5: Bestimmung von Technologieanforderungen sowie Entwicklung, Konstruktion und Bau von ersten Demonstratoren und Fertigungsmustern AP 6: Transfer des Projekts mit zeitweiligem Wechsel der wissenschaftlichen Mitarbeiter ins Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> 3-4 WMA Geräteausstattung (Messstand Wärmeübergang)
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Beitrag zur Nachwuchssicherung
<ul style="list-style-type: none"> Was sind die Produkte des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> Konzept für neuartige, anwendungsspezifische Wärmerückgewinnungstechnologien Konzept für eine Transfergruppe Vorbereitung von Forschungsanträgen <ul style="list-style-type: none"> Landesförderung Freistaat Sachsen, 6. Energieforschungsprogramm des Bundes Inländische Abdeckung aller Teile der Verwertungskette 	<ul style="list-style-type: none"> Wer ist für die Verwertung/Markteinführung zuständig? <ul style="list-style-type: none"> Transferkonzept mit parallelem Personaltransfer zwischen Wissenschaft und Industrie Patentstrategie für alle neuentwickelten Komponenten inklusive Erstnutzungsrecht durch die Industriepartner Einbindung in bestehendes Vertriebssystem der Industriepartner als Alternativprodukt zu den bisherigen Systemen Falls die beabsichtigten, neuartigen Systeme mindestens ähnliche Eigenschaften wie Konkurrenzsysteme aufweisen, werden einige Industriepartner Weltmarktführer auf diesem Themengebiet 	<ul style="list-style-type: none"> Fachkräfte für Unternehmen insbesondere auch Erfahrungsaustausch zwischen Industrie und Wissenschaft Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker Potential für Folgeanträge für detaillierte Anwendungen, u.a. in Form der Einrichtung eines eigenen Fachbereichs bzw. einer Nachwuchsforscherguppe Entwicklung eines Angebots für Mitarbeiterschulungen



(3) Verwertung von Produktionsreststoffen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzukunft. Seit 1763

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> - Effiziente Verwertung von bislang ungenutzten kohlenstoffbasierten Abfallströmen in KMU's • Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> - Kompaktanlage aus Pyrolysereaktor und BHKW • Ist das neu? <ul style="list-style-type: none"> - Anlagen nur im größeren Leistungsbereich vorhanden, für KMUs ungeeignet • Bezug zum Zwanzig20-Ansatz Low Carbon Economy: Effizienz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> - Partner aus der Wissenschaft <ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen: Bestimmung Prozessparameter für verschiedene Abfallströme (Kunststoffe, Agrarrückstände, Holz) - Partner aus der Wirtschaft <ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen: Entwicklung, Fertigung und Vertrieb von thermischen Kompaktanlagen (Reaktoren, Gasaufbereitung) • Alleinstellungsmerkmale des Konsortiums: <ul style="list-style-type: none"> - Einbeziehung von Endanwendern 	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaft Prof. Dr. B. Meyer (TUBAF), Dr. Krzack (TUBAF, Koordinator) • Industrie: 1 Unternehmen aus dem Bereich Anlagenbau, 1 Endanwender (Holzverarbeitung)
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> • Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> - patentierte Technologie für die Pyrolyse von Kunststoffabfällen bei minimierter Teerausbeute - Konstruktion des Reaktors mit Schneckenvortrieb begünstigt eine Erhöhung des Konversionsgrades • Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> - Anlagenflexibilität für den Einsatz verschiedener, darunter auch schwieriger, Abfallarten (Kleinfresser) • Kompetenzen: Erfahrungen der Partner im Anlagenbau und -betrieb 	<ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenzsituation durch bisherige, ökologisch bedenkliche Technologien gegeben (Verbrennung) • Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs muss noch demonstriert werden (Downscaling der Anlagen bewirkt einen Anstieg spezifischer Kosten) • Risiko aufgrund des Einsatzes von neuen Abfallarten mit möglichen negativen Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb und die Anlagenverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • 01.01.2016 – 31.12.2018
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse und Bewertung des Marktpotentials für kleinere Anlagen zur Verwertung verschiedenartiger kohlenstoffbasierter Abfallarten • Produktentwicklung: Auslegung/Design, Fertigung und Inbetriebnahme eines Anlagenprototypen • Anlagenbetrieb im Langzeiteinsatz beim Endanwender (Einsatzstoff: Holzabfälle aus dem Möbelbau) • Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und Optimierung der Prozessbedingungen für verschiedene potentielle Einsatzstoffe • Entwicklung eines Konzepts für den Markteintritt 	<ul style="list-style-type: none"> • AP 1: Konzeption einer integrierten Kompaktanlage in Containerbauweise, Bau von zwei Prototypen für die Technologieerprobung beim Endanwender (Holzverarbeitungsunternehmen) und in der Forschungseinrichtung (TUBAF) • AP 2: Verfahrensnachweis und Ermittlung von Wirtschaftlichkeitsdaten aus dem Langzeiteinsatz des Prototypen unter praxirelevanten Bedingungen in einem sächsischen KMU mit Holzabfällen als Einsatzstoff • AP 3: Auswahl und brennstofftechnische Charakterisierung alternativer Einsatzstoffe • AP 4: Anlagenbetrieb im Technikummaßstab zur Anpassung der Prozeßbedingungen für die ausgewählten Einsatzstoffe • AP 5: Modellierung von Gesamtprozessketten auf Grundlage der ermittelten Versuchsdaten, Bewertung und Optimierung verschiedener Verfahrensvarianten für unterschiedliche Einsatzstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 WMA, 1 Technischer Mitarbeiter • 2 Demonstratoren (Endanwender, FuE-Einrichtung)
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Finanzplan
<ul style="list-style-type: none"> • Was sind die Produkte des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> - erprobte Anlagenprototypen - Verfahrensnachweis für den Langzeiteinsatz mit ausgewählten Abfallarten (Holzabfälle) • Technologische, wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Einsatzmöglichkeiten für verschiedene Abfallarten (mit Relevanz für sächsische KMU's) • Vorbereitung eines FuE-Projekts <ul style="list-style-type: none"> - Beantragung einer Projektförderung mit Mitfinanzierung aus EFRE/ESF-Mitteln 	<ul style="list-style-type: none"> • Wer ist für die Verwertung/Markteinführung zuständig? <ul style="list-style-type: none"> - Wirtschaft (Anlagenbauer) • Entwicklung einer geeigneten Strategie zur Sicherung von Schutzrechten für die neuentwickelten Kompaktanlagen und die identifizierten Einsatzvarianten • Mit der geplanten Produktentwicklung kann die bestehende Marktlücke für kleinere Anlagen zur Verwertung von Produktionsabfällen (10-20 kg/h) im dezentralen Einsatz geschlossen werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Praxisorientierte Ausrichtung der Forschung und frühzeitige Bindung von akademischen Nachwuchskräften an regionale Unternehmen; damit Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen, um dem Fachkräftemangel in Sachsen entgegenzuwirken • Potential für Folgeanträge für detaillierte Anwendungen, u.a. in Form der Einrichtung eines eigenen Fachbereichs bzw. einer Nachwuchsforscherguppe



(4) Doppelschicht-Kondensatoren



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzukunft. Seit 1763

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<p>Innovative Prozesstechnologie und Identifikation einer geeigneten, wirtschaftlichen Rohstoffbasis für die Synthese maßgeschneiderter nanoporöser Kohlenstoffmaterialien für langlebige Superkondensatoren.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hersteller im Bereich der Doppelschichtkondensatoren (In Europa führendes Unternehmen in der Superkondensator Technologie) • Technische Universität Bergakademie Freiberg (Weltweit führendes Forschungszentrum in Bereich der Kohleforschung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. B. Meyer (IEC, Verantwortlicher) • Prof. Dr. D. Meyer (Ex. Physik, Verantwortlicher) • Start-up Doppelschichtkondensatoren
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<p>Die Lebensdauer von Superkondensatoren bei erhöhter Betriebstemperatur wird durch Spurenverunreinigungen des eingesetzten Kohlenstoffmaterials begrenzt. Die relevanten Spurenverunreinigungen hängen maßgeblich von der eingesetzten Rohstoffquelle ab. Wirtschaftlich attraktive Alternativen zum Stand der Technik fehlen bisher.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das beteiligte Technologie-Start-up ist derzeit mit dem Aufbau einer Fabrikation von Superkondensatoren in Sachsen befasst. Das Projekt dient der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch intensive Integration der in Deutschland vorhandenen Forschungskompetenz auf dem Gebiet der Kohle- und Rohstoffforschung. 	<ul style="list-style-type: none"> • 36 Monate
Hauptaktivitäten	Projektressourcen	Arbeitspakete und Meilensteinplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Spurenverunreinigung in Abhängigkeit der Rohstoffbasis • Relevanz der Spurenverunreinigungen in Bezug auf die Funktion der Energiespeicherung • Identifikation geeigneter Optionen zur Reduzierung der Spurenverunreinigungen • Identifikation kostengünstiger Rohstoffquellen • Optimierung der „Carbide Derived Darbon“- Materialeigenschaften durch in-situ Prozessverfolgung mittels ETV-ICP OES 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 WMA • Verbrauchsmaterial 	<ul style="list-style-type: none"> • M1: Aufbau einer für die Chlorierung geeigneten ETV-ICP OES Zelle. • M2: Rohstoff Screening abgeschlossen • M3: Prozessoptimierung abgeschlossen • M4: Wirtschaftliche und technologische Bewertung abgeschlossen
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Finanzplan
<ul style="list-style-type: none"> • Neue Rohstoffstrategien für Superkondensatoren • Neue Synthesestrategien für nanoporösen Kohlenstoff • Erhöhte Wettbewerbsfähigkeit der Superkondensator-Technologie des Projektkonsortiums 	<ul style="list-style-type: none"> • Wird derzeit erarbeitet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektbudget: noch offen • Beitrag der Wirtschaft: noch offen
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Beitrag zur Nachwuchssicherung
		<ul style="list-style-type: none"> • Fachkräfte für Unternehmen • Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker



(5) Chemische in-situ-Analytik



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität seit 1763

<p>Zielsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> Schnelle Prognose des Verschmutzungs- / Verschlackungspotentials von Einsatzstoffen und deren Konversionsprodukten Entwicklung einer neuen und innovativen Analyseverfahren zur schnelleren und vielseitigeren Einsatzstoffcharakterisierung Durch bessere Einsatzstoffcharakterisierung können die Verarbeitungsprozesse optimiert werden → effizientere Prozesse → weniger Einsatzstoff → weniger CO₂ Emission 	<p>Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)</p> <ul style="list-style-type: none"> Konsortialpartner aus der Wissenschaft Naturwissenschaftler; Kompetenzen in analytischer Chemie, Entwicklung von analytischen Methoden zur verbesserten Einsatzstoffcharakterisierung Konsortialpartner aus der Wirtschaft Mineralogen, Ingenieure; Vorgabe der Fragestellungen, Einbringung von Betriebserfahrungen, Bereitstellung von Probenmaterial 	<p>Verantwortliche Personen</p> <ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. M. Otto (TUBAF, Verantwortlicher) Dipl. Nat. Thomas Vogt (TUBAF, Koordinator) Dr. Markus Neuroth (RWE, Verantwortlicher) <p>Projektlaufzeit</p> <ul style="list-style-type: none"> 01.04.2017 – 31.12.2019
<p>Stand der Technik / Innovationspotenzial</p> <p>Technischer Stand:</p> <ul style="list-style-type: none"> Viele verschiedene Messmethoden mit sehr hohem präparativen Aufwand → lange Messzeit, keine prozessbegleitende Analytik mgl. Bedarf von prozessbegleitender, innovativer Analysetechnik, <p>Kompetenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Im DER Projekt (2010 – 2014) angeeignetes Vorwissen, Laborausstattung, eingearbeitetes Personal 	<p>Risiken / Notwendigkeit der Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> Risiko für die Wirtschaft 	<p>Projektressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 WMA Finanzen für Verbrauchsmaterial <p>Finanzplan</p> <ul style="list-style-type: none"> Projektbudget: EUR 300.000
<p>Hauptaktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> Literaturrecherche über Stand der Technik Methodenentwicklung (ETV – ICP OES) Vergleich der Ergebnisse mit denen von etablierten Verfahren Datenauswertung 	<p>Arbeitspakete und Meilensteinplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> AP1: Bestimmung von prozess- sowie emissionsrelevanten Elementen Erweiterung um die Elemente O,N,Cl und Hg (AP-1.1) und um die Einsatzstoffe Koks, Sedimente und Biomassen (AP-1.2) AP2: Speziation relevanter Elemente <p>Meilenstein 1: Vergleich ETV-ICP OES Ergebnisse mit etablierten Methoden</p> 	
<p>Nutzen / Lieferobjekte</p> <ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung einer innovativen, prozessbegleitenden Analyseverfahren zur schnelleren Charakterisierung der Einsatzstoffe Weiterbildung von Graduierten (Betreuung von Graduiertenarbeiten, Beschäftigung von Hiwis) durch anwendungsnahe Forschung 	<p>Verwertungsplan</p> <ul style="list-style-type: none"> Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften Teilnahme an wissenschaftlichen Tagungen → Bereitstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse Innerbetriebliche Verwertung/Markteinführung der Projektergebnisse erfolgt durch Herrn Dr. Markus Neuroth (RWE, Verantwortlicher) 	<p>Beitrag zur Nachwuchssicherung</p> <ul style="list-style-type: none"> Fachkräfte für Unternehmen Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe



(6) Betriebsbedingte Multielementanalyse



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität seit 1763

<p>Zielsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> Schnelle Prognose des Verschmutzungs- / Verschlackungspotentials von Einsatzstoffen und deren Konversionsprodukten Entwicklung einer neuen und innovativen Analyseverfahren zur schnelleren und vielseitigeren Einsatzstoffcharakterisierung Durch bessere Einsatzstoffcharakterisierung können die Verarbeitungsprozesse optimiert werden → effizientere Prozesse → weniger Einsatzstoff → weniger CO₂ Emission 	<p>Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)</p> <ul style="list-style-type: none"> Konsortialpartner aus der Wissenschaft Naturwissenschaftler; Kompetenzen in analytischer Chemie, Entwicklung von analytischen Methoden zur verbesserten Einsatzstoffcharakterisierung Konsortialpartner aus der Wirtschaft Mineralogen, Ingenieure; Vorgabe der Fragestellungen, Einbringung von Betriebserfahrungen, Bereitstellung von Probenmaterial 	<p>Verantwortliche Personen</p> <ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. M. Otto (TUBAF, Verantwortlicher) Dipl. Nat. Thomas Vogt (TUBAF, Koordinator) Dr. Markus Neuroth (RWE, Verantwortlicher) <p>Projektlaufzeit</p> <ul style="list-style-type: none"> 01.04.2015 – 31.12.2017
<p>Stand der Technik / Innovationspotenzial</p> <p>Technischer Stand:</p> <ul style="list-style-type: none"> Viele verschiedene Messmethoden mit sehr hohem präparativen Aufwand → lange Messzeit, keine prozessbegleitende Analytik mgl. Bedarf von prozessbegleitender, innovativer Analysetechnik, <p>Kompetenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Im DER Projekt (2010 – 2014) angeeignetes Vorwissen, Laborausstattung, eingearbeitetes Personal 	<p>Risiken / Notwendigkeit der Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> Risiko für die Wirtschaft 	<p>Projektressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 WMA Finanzen für Verbrauchsmaterial <p>Finanzplan</p> <ul style="list-style-type: none"> Projektbudget: EUR 300.000
<p>Hauptaktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> Literaturrecherche über Stand der Technik Methodenentwicklung (ETV – ICP OES) Vergleich der Ergebnisse mit denen von etablierten Verfahren Datenauswertung 	<p>Arbeitspakete und Meilensteinplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> AP1: Bestimmung von prozess- sowie emissionsrelevanten Elementen Erweiterung um die Elemente O,N,Cl und Hg (AP-1.1) und um die Einsatzstoffe Koks, Sedimente und Biomassen (AP-1.2) AP2: Speziation relevanter Elemente <p>Meilenstein 1: Vergleich ETV-ICP OES Ergebnisse mit etablierten Methoden</p> 	
<p>Nutzen / Lieferobjekte</p> <ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung einer innovativen, prozessbegleitenden Analyseverfahren zur schnelleren Charakterisierung der Einsatzstoffe Weiterbildung von Graduierten (Betreuung von Graduiertenarbeiten, Beschäftigung von Hiwis) durch anwendungsnahe Forschung 	<p>Verwertungsplan</p> <ul style="list-style-type: none"> Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften Teilnahme an wissenschaftlichen Tagungen → Bereitstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse Innerbetriebliche Verwertung/Markteinführung der Projektergebnisse erfolgt durch Herrn Dr. Markus Neuroth (RWE, Verantwortlicher) 	<p>Beitrag zur Nachwuchssicherung</p> <ul style="list-style-type: none"> Fachkräfte für Unternehmen Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe



(7) Risikobewertung unbekannter Kohle-lagerstätten



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzentrum seit 1765

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> Analyse der Eigenschaften bisher unbekannter, kritischer Kohle-Lagerstätten zur Optimierung der Rohstoffausbeute Vorhersage der Auswirkungen auf weiteren Verarbeitungsprozess im Kraftwerk z.B. auf technische Komponenten Rohstoffeffizienz: Wegfall der großtechnischen Vorerprobung Ressourcenschonung: Optimale Ausnutzung vorhandener Tagebauaufschlüsse und Vermeidung von Neuerschließungen 	<ul style="list-style-type: none"> Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> Vattenfall Europe AG Kompetenzen: Anlagenbetreiber-Know-how TU Bergakademie Freiberg + TU Dresden Kompetenzen: Analyse und Versuchsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. S. Guhl (TUBAF, Verantwortlicher) Dr. Grahl (TU Dresden, Verantwortl.) Dr. Brunne (Vattenfall, Verantwortlicher)
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> Verwendung der derzeit abgebauten Kohle Qualität bekannt, Anlagenbetrieb darauf abgestimmt Unsicherheit beim Einsatz neuer/anderer Kohlearten Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> Mögliche Voraussagen bei Verwendung anderer Kohlen Kompetenzen: <ul style="list-style-type: none"> Empirisches und theoretisches Wissen der Partner 	<ul style="list-style-type: none"> Effiziente Nutzung bzw. Abbau bestehender Tagebaue Optimierung der Verarbeitung auch minderwertiger Kohle Unter ökologischen und ganzheitlichen Aspekten sinnvoll Vermeidung der Öffnung neuer Tagebaue Schwierigkeit der Vorhersagbarkeit von Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> 2016 – 2017
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand der Technik (Referenzobjekte) Auswahl geeigneter Analysemethoden Analyse von gezogenen Bodenproben Voraussage der resultierenden Eigenschaften/Probleme Gegenmaßnahmen zur besseren Nutzbarkeit/Alternativen 	<ul style="list-style-type: none"> AP 1: Erarbeitung eines Analyse- u. Bewertungssystems AP 2: Durchführung der Analysen anhand von Proben AP 3: Abschätzung des Verschmutzungspotentials für bestehende Kraftwerksanlagen AP 4: Aufzeigen von Lösungswegen um die Verschmutzung/Verschlackung zu beherrschen AP 5: Betrachtung des Trocknungsverhaltens für alternative Nutzung als Trockenbraunkohle 	<ul style="list-style-type: none"> 3 WMA, 4 TA Geräteausstattung (bei TU Freiberg/Dresden)
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Finanzplan
<ul style="list-style-type: none"> Was sind die Produkte des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> Analyse und Bewertungskonzepte Voraussagen und Folgenabschätzung Vorbereitung von Forschungsanträgen <ul style="list-style-type: none"> Mögliche Förderprogramme: noch keine bekannt Anwendungsnahe Maßnahme zur Ressourcenschonung (Effizienz-Aspekt) 	<ul style="list-style-type: none"> Prinzipielle Übertragbarkeit auf andere Lagerstätten Aufbau von Know-how hinsichtlich Rohstoffanalytik und Ursachen-Wirkungs-Zusammenhängen in Abhängigkeit der Rohstoffeigenschaften Aufbau von Know-how zu innovativen Gegenmaßnahmen bei unerwünschten Eigenschaften (z.B. Verschlackung) 	<ul style="list-style-type: none"> Projektbudget EUR n. b. Eigenbeitrag der Wirtschaft EUR n. b.
	Beitrag zur Nachwuchssicherung	
		<ul style="list-style-type: none"> Fachkräfte für Unternehmen Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker



(8) Co-Nutzung von Biomasse



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzentrum seit 1765

Zielsetzung	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)	Verantwortliche Personen
<ul style="list-style-type: none"> Ziele: Verschmutzungsarme Fahrweise von SK-Kesseln bei Biomasse-Co-Feuerung Was/Wie: Modelle/Kennzahlen zur Einschätzung des Verschmutzungsrisikos auf Basis der Brennstoffzusammensetzung Neu: bisher nicht untersuchter Brennstoffmix Bezug: Substitution von Kohle durch Biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> TUBAF/IEC + TUBAF/IAC: Erfahrung in der Relation von Aschekomponenten und -eigenschaften RWE Power AG: Europaweiter Betreiber von SK- und BK-Kraftwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. B. Meyer (IEC, Verantwortlicher) Dr. M. Neuroth (RWE Power AG, Verantwortlicher)
Stand der Technik / Innovationspotenzial	Risiken / Notwendigkeit der Förderung	Projektlaufzeit
<ul style="list-style-type: none"> Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> Kraftwerke konzipiert für reine Kohlenutzung Kraftwerksspezifische Verschlackungseigenschaften Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> Flexibilisierung von reinen Kohlekraftwerken für unterschiedliche Brennstoffmischungen Kompetenzen: langjähriges Betreiber- und Forschungs-Knowhow der Projektpartner 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Förderung, direktes Anwendungspotential bzw. Verwertung der Ergebnisse angestrebt Keine FuE-Risiken, Risiken ehre bei Anwendung/Übertragung der Ergebnisse auf Prozess 	<ul style="list-style-type: none"> 01.03.2015 – 28.02.2018
Hauptaktivitäten	Arbeitspakete und Meilensteinplanung	Projektressourcen
<ul style="list-style-type: none"> Recherche Stand der Technik Vorauswahl von geeigneten und in technischem Umfang verfügbaren Brennstoffen Technologiegestaltung: Effizienz, Brennstoffflexibilität Bewertungskriterienkatalog zur Beurteilung von Brennstoffmischungen und zur Identifikation von geeigneten Beimischungen sowie deren Grenzen 	<ul style="list-style-type: none"> AP 1: Darstellung Stand der Technik zur Ansatzbildung AP 2: Festlegung der verbrennungstechnischen Randbedingungen AP 3: Auswahl und Charakterisierung der Brennstoffe und Festlegung der Mischungen AP 4: Durchführung laborseitiger und ggf. betrieblicher Untersuchungen zur Ansatzbildung der ausgewählten Brennstoffmischungen AP 5: Thermochemische Berechnungen AP 6: Ausarbeitung einer Bewertung zum optimalen Einsatz von Brennstoffmischungen in Staubfeuerung 	<ul style="list-style-type: none"> 1 WMA Verbrauchsmaterial
Nutzen / Lieferobjekte	Verwertungsplan	Finanzplan
<ul style="list-style-type: none"> Was sind die Produkte des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> Bewertungssystem/Empfehlung für Brennstoffmischungen bzw. Biomassezumischraten Vorbereitung von Forschungsanträgen <ul style="list-style-type: none"> 6. Energieforschungsprogramm (Bund) Anwendungsnahe des Vorhabens: <ul style="list-style-type: none"> Sofortiger Transfer in den Kraftwerksbetrieb Reduktion CO₂-Ausstoß in der Größenordnung von 5-10 % gegenüber reiner Kohle möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Wer ist für die Verwertung/Markteinführung zuständig? <ul style="list-style-type: none"> Sofortiger Transfer von Ergebnissen am IEC in den realen Prozess der RWE Power AG Sicherung von IP-Rechten mit Erstnutzungsrecht für Projektpartner Geschäftsmodell für kommerziellen Einsatz des Bewertungssystems realisierbar Erfolgsaussichten des Vorhabens: Hoch, da theoretische/ experimentelle Ergebnisse mit Betreibererfahrung kombiniert werden 	<ul style="list-style-type: none"> Projektbudget EUR 300.000 Beitrag der Wirtschaft EUR 300.000
	Beitrag zur Nachwuchssicherung	
		<ul style="list-style-type: none"> Fachkräfte für Unternehmen Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforschergruppe



(9) Direct Power-to-X



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenschule der Welt 1765

Zielsetzung <ul style="list-style-type: none"> • Ziel: Synthesegaserzeugung aus Erdgas unter Einbindung von CO₂ und erneuerbarem Strom • Neuheitswert: Flexible Einkopplung von Elektroenergie in Reaktoren zur Partialoxidation (POX) oder Autothermreformierung (ATR) über elektrische Heizstäbe • Verbesserung: flexible Nutzung erneuerbarer Energie, Verringerung der CO₂-Emissionen sowie des Sauerstoff- und Erdgasbedarfs 	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft) <ul style="list-style-type: none"> • TUBAF/IEC: <ul style="list-style-type: none"> - Erfahrung im Betrieb von ATR- und POX-Anlagen im Pilotmaßstab - Laborausstattung, CFD-Simulation • Chemieanlagenbau Chemnitz <ul style="list-style-type: none"> - Engineering, Bau und Inbetriebnahme von chemischen Anlagen 	Verantwortliche Personen <ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. Bernd Meyer (IEC) • Joachim Engelmann (CAC)
Stand der Technik / Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> • Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> - autotherme POX- oder ATR-Anlagen mit O₂-Zugabe zur Synthesegaserzeugung weltweit • Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> - Direkte Nutzung erneuerbarer Energie zur Synthesegaserzeugung ohne Wasserstoffherstellung durch Elektrolyse 	Risiken / Notwendigkeit der Förderung <ul style="list-style-type: none"> • Unter derzeitigen politischen Bedingungen (Kosten für CO₂-Emission) und Marktbedingungen (Strom- und Erdgaspreis) nicht wirtschaftlich darstellbar • hohes wirtschaftliches Risiko für Industriepartner 	Projektlaufzeit <ul style="list-style-type: none"> • 01.01.2017 – 31.12.2019
Hauptaktivitäten <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptionierung und Auslegung des Umbaus der HP-POX-Anlage am IEC • Umbau und Anpassung der Anlage • Versuchsbetrieb zur Demonstration des Prinzips • Bilanzierung und simulative Abbildung • Übertragung auf industrielle Anlagen, Bewertung des Marktpotenzials, Bedingungen für Markteintritt 	Arbeitspakete und Meilensteinplanung <ul style="list-style-type: none"> • AP 1: Reaktorkonzept • AP 2: Reaktorumbau • AP 3: Inbetriebnahme • AP 4: Stationäre Orientierungsversuche • AP 5: Stationärer und dynamischer Betrieb • AP 6: Prozessbilanzierung und Auswertung • AP 7: CFD-Simulation • AP 8: Übertragbarkeit auf Großanlagen 	Projektressourcen <ul style="list-style-type: none"> • 3 WMA, 3 Ingenieure, 3 TA • Geräteausstattung (Reaktorumbau)
Nutzen / Lieferobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Demonstration des Reaktorprinzips im Pilotmaßstab • Betriebsenerfahrung • Innovativer Versuchsreaktor für folgende Forschungsprojekte • Feasibility-Studie incl. Basic-Engineering für eine Großanlage 	Verwertungsplan <ul style="list-style-type: none"> • Patentierung der Technologie • Vermarktung der Technologie auf Basis von Feasibility Studie und Basic-Engineering • Vorbereitung der Untersuchung der Verbreitung der Technologie in anderen großindustriellen Anwendungen 	Finanzplan <ul style="list-style-type: none"> • Projektbudget EUR 4.000.000 • Eigenbeitrag der Wirtschaft EUR 450.000
		Beitrag zur Nachwuchssicherung <ul style="list-style-type: none"> • Fachkräfte für Unternehmen • Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker • Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe



(10) Mikrowellenunterstützte CO₂-Dampf-Reformierung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenschule der Welt 1765

Zielsetzung <ul style="list-style-type: none"> • Ziel: Synthesegaserzeugung aus Erdgas unter Einbindung von CO₂ und erneuerbarem Strom • Neuheitswert: katalysatorfreie Hochtemperaturreformierung mit Mikrowellenbeheizung einer Keramikstruktur • Verbesserung: CO₂-Einbindung in Synthesegas, Senkung des Erdgasverbrauchs, flexible Stromekopplung, Einsatzstabilität 	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft) <ul style="list-style-type: none"> • TUBAF/IEC: Erfahrung in der Synthesegaserzeugung aus Erdgas bis zum Pilotmaßstab • Fraunhofer IKTS: Erfahrung mit korrosionsbeständigen und mikrowellenabsorbierenden zellulären Keramikstrukturen • KIT/IHM: Erfahrungen im Bereich der Material-prozesstechnik mittels Mikrowellen 	Verantwortliche Personen <ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. B. Meyer • Dr. J. Adler (IKTS) • Dr. G. Link (IHM)
Nutzen / Lieferobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Demonstration des Funktionsprinzips der Hochtemperaturreformierung mit Mikrowellenbeheizung im Technikumsmaßstab • Optimale Betriebsbedingungen als Auslegungsgrundlage für eine Demonstrationsanlage • Reaktormodell zur Einbindung in Gesamtprozessketten und Bewertung nach Kriterien der Nachhaltigkeit 	Risiken / Notwendigkeit der Förderung <ul style="list-style-type: none"> • Unter derzeitigen Rahmenbedingungen (Kosten für CO₂-Emission, Strom- und Erdgaspreis) nicht wirtschaftlich darstellbar • Gesamtwirkungsgrad stark vom Wirkungsgrad der Mikrowellenerzeugung abhängig 	Projektlaufzeit <ul style="list-style-type: none"> • 01.10.2016 – 30.09.2019
Hauptaktivitäten <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptionierung, Aufbau und Inbetriebnahme einer Technikumsanlage zur Demonstration des Funktionsprinzips • Anlagenbetrieb und Auswertung • Bestimmung optimaler Betriebsbedingungen • Erstellung eines vereinfachten Reaktormodells für die Prozesskettenimulation • Bewertung des Marktpotentials der Technologie • Erstellung einer Ökobilanz basierend auf möglichen Gesamtprozessketten 	Arbeitspakete und Meilensteinplanung <ul style="list-style-type: none"> • IEC • AP 1: Reaktorkonzept • AP 2: Aufbau des Versuchsstandes • AP 3: Inbetriebnahme Versuchsstand • AP 4: Versuchsbetrieb und Auswertung • AP 5: Prozesskettenentwicklung, -bewertung • AP 6: Ökobilanzierung • MS 1: Inbetriebnahme abgeschlossen • MS 2: Optimale Betriebsbedingungen bestimmt 	Projektressourcen <ul style="list-style-type: none"> • 3 WMA, 3 TMA • Testreaktor mit Prozessanalytik
	Verwertungsplan <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftliches Verwertungspotenzial: Senkung der CO₂-Emission und des Erdgasverbrauchs an großindustriellen Chemiestandorten, KMUs zur dezentralen Wertschöpfung aus minderwertigen Gasen und Biogas • Wissenschaftlich-technische Verwertungsabsichten: Skalierung der Anlagenkomponenten zur Errichtung einer Pilotanlage 	Finanzplan <ul style="list-style-type: none"> • EUR 1.300.000
		Beitrag zur Nachwuchssicherung <ul style="list-style-type: none"> • Fachkräfte für Unternehmen • Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker • Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforscherguppe



(11) Regenerative Ottokraftstoff-synthese



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzentrum seit 1763

<p>Zielsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> - Einkopplung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien (EE) in den Transport- und Mobilitätssektor in Form von synthet. Kraftstoff • Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> - Technologie zur Herstellung eines regenerativen Ottokraftstoffes aus CO₂ und H₂ mithilfe von Überschussstrom über die Zwischenstufe Methanol • Was ist daran neu? <ul style="list-style-type: none"> - Herstellung von synthetischen Designer-Kraftstoffen mit verminderten Schadstoffemissionen <p>Stand der Technik / Innovationspotenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> - Methanolsynthese aus Wasserstoff und CO - Kraftstoffsynthese ausgehend vom Methanol • Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> - Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse unter Einbindung von regenerativem Überschussstrom - Kohlenstoffquelle aus CO₂ (Industrie/Atmosphäre) - Kraftstoffherstellung aus „grünem“ Methanol - Synthese eines emissionsminimierten Ottokraftstoffs - bessere Anwendungseigenschaften als konventionelle erdölbasierten Kraftstoffe <p>Hauptaktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung neuer, modularer und über einen weiten Bereich skalierbarer Prozesstechnologien, die sich auch für einen dezentralen Einsatz mit kleineren Kapazitäten eignen • Herstellung von synthetischen, schadstoffminimierten Ottokraftstoffen aus CO₂/H₂O/Strom mit dem innovativen Methanol-to-Gasoline-Syntheseprozess als Schlüsseltechnologie • Produktbereitstellung im 10 t-Maßstab für Flottentests zur Marktvorbereitung von synthetischen regenerativen Ottokraftstoffen 	<p>Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> - Partner aus der Wissenschaft TU Bergakademie Freiberg, HS Coburg, TU Braunschweig, Argomotive GmbH - Partner aus der Wirtschaft VW, Audi, Shell, OMV, CAC GmbH <p>Risiken / Notwendigkeit der Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlich gegenüber konventionellen Kraftstoffen? • Notwendige Lagerstabilität des Synthesekraftstoffs! • Systemischer Ansatz mit hohem Forschungsrisiko und hohem Innovationspotenzial • Notwendig um CO₂-Vermeidungsziele und den dafür nötigen Anteil von EE im Transportsektor zu erreichen <p>Arbeitspakete und Meilensteinplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungsprofil für Synthesekraftstoff erarbeiten (z.B. hinsichtlich Emissionen und sonst. Eigenschaften) • Entwicklung der Prozesstechnologie ausgehend von der Wasserstoffgewinnung mithilfe erneuerbarer Energie und unter Einbindung von Kohlendioxid • Arbeiten zur stofflichen Qualifizierung, zu Wechselwirkungen, Modellerstellung und Prozesskettenanalyse • Herstellung von Testqualitäten für Flottenversuche <p>Nutzen / Lieferobjekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was sind die Ergebnisse des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> - Senkung CO₂-Emission (bei Erzeugung + Verbrauch) - Bereitstellung eines regenerativen, synth. Kraftstoffs • Demonstration des Prozessprinzips im Pilotmaßstab • Speichermögl. für Überschussstrom in chemischer Form • Mögliche Nutzung der Infrastruktur und Motorentechnologie für konventionelle Kraftstoffe (Mischbarkeit gegeben) 	<p>Verantwortliche Personen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koordinator: Prof. Dr. B. Meyer (TU Freiberg) • Verantwortliche seitens der Wirtschaft: Dr. Th. Garbe (VW), R. Mangold (Audi) <p>Projektlaufzeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Angestrebter Umsetzungszeitraum: 3 Jahre <p>Projektressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftler und Versuchsanlagenpersonal • Sachkosten und Investitionen Versuchsanlage <p>Finanzplan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projektbudget 8 Mio. € • Eigenbeitrag der Wirtschaft 2 Mio. € <p>Verwertungsplan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergabe von Lizenzpaketen an Anlagenbauer und die Mineralölunternehmen • Bereitstellung einer technologieoffenen Synthesekraftstoff-Plattform, basierend auf vorhandenen Versuchsanlagen • Herstellung repräsentativer Kraftstoffchargen für Flottentests der Automobilhersteller
---	--	---



(11) Regenerative Ottokraftstoff-synthese



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenzentrum seit 1763

<p>Zielsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtziele: <ul style="list-style-type: none"> - Einkopplung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien (EE) in den Transport- und Mobilitätssektor in Form von synthet. Kraftstoff • Was wird entwickelt? <ul style="list-style-type: none"> - Technologie zur Herstellung eines regenerativen Ottokraftstoffes aus CO₂ und H₂ mithilfe von Überschussstrom über die Zwischenstufe Methanol • Was ist daran neu? <ul style="list-style-type: none"> - Herstellung von synthetischen Designer-Kraftstoffen mit verminderten Schadstoffemissionen <p>Stand der Technik / Innovationspotenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technischer Stand <ul style="list-style-type: none"> - Methanolsynthese aus Wasserstoff und CO - Kraftstoffsynthese ausgehend vom Methanol • Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> - Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse unter Einbindung von regenerativem Überschussstrom - Kohlenstoffquelle aus CO₂ (Industrie/Atmosphäre) - Kraftstoffherstellung aus „grünem“ Methanol - Synthese eines emissionsminimierten Ottokraftstoffs - bessere Anwendungseigenschaften als konventionelle erdölbasierten Kraftstoffe <p>Hauptaktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung neuer, modularer und über einen weiten Bereich skalierbarer Prozesstechnologien, die sich auch für einen dezentralen Einsatz mit kleineren Kapazitäten eignen • Herstellung von synthetischen, schadstoffminimierten Ottokraftstoffen aus CO₂/H₂O/Strom mit dem innovativen Methanol-to-Gasoline-Syntheseprozess als Schlüsseltechnologie • Produktbereitstellung im 10 t-Maßstab für Flottentests zur Marktvorbereitung von synthetischen regenerativen Ottokraftstoffen 	<p>Partner (Wissenschaft + Wirtschaft)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Konsortialpartner werden gebraucht: <ul style="list-style-type: none"> - Partner aus der Wissenschaft TU Bergakademie Freiberg, HS Coburg, TU Braunschweig, Argomotive GmbH - Partner aus der Wirtschaft VW, Audi, Shell, OMV, CAC GmbH <p>Risiken / Notwendigkeit der Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlich gegenüber konventionellen Kraftstoffen? • Notwendige Lagerstabilität des Synthesekraftstoffs! • Systemischer Ansatz mit hohem Forschungsrisiko und hohem Innovationspotenzial • Notwendig um CO₂-Vermeidungsziele und den dafür nötigen Anteil von EE im Transportsektor zu erreichen <p>Arbeitspakete und Meilensteinplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungsprofil für Synthesekraftstoff erarbeiten (z.B. hinsichtlich Emissionen und sonst. Eigenschaften) • Entwicklung der Prozesstechnologie ausgehend von der Wasserstoffgewinnung mithilfe erneuerbarer Energie und unter Einbindung von Kohlendioxid • Arbeiten zur stofflichen Qualifizierung, zu Wechselwirkungen, Modellerstellung und Prozesskettenanalyse • Herstellung von Testqualitäten für Flottenversuche <p>Nutzen / Lieferobjekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was sind die Ergebnisse des Projekts? <ul style="list-style-type: none"> - Senkung CO₂-Emission (bei Erzeugung + Verbrauch) - Bereitstellung eines regenerativen, synth. Kraftstoffs • Demonstration des Prozessprinzips im Pilotmaßstab • Speichermögl. für Überschussstrom in chemischer Form • Mögliche Nutzung der Infrastruktur und Motorentechnologie für konventionelle Kraftstoffe (Mischbarkeit gegeben) 	<p>Verantwortliche Personen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koordinator: Prof. Dr. B. Meyer (TU Freiberg) • Verantwortliche seitens der Wirtschaft: Dr. Th. Garbe (VW), R. Mangold (Audi) <p>Projektlaufzeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Angestrebter Umsetzungszeitraum: 3 Jahre <p>Projektressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftler und Versuchsanlagenpersonal • Sachkosten und Investitionen Versuchsanlage <p>Finanzplan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projektbudget 8 Mio. € • Eigenbeitrag der Wirtschaft 2 Mio. € <p>Verwertungsplan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergabe von Lizenzpaketen an Anlagenbauer und die Mineralölunternehmen • Bereitstellung einer technologieoffenen Synthesekraftstoff-Plattform, basierend auf vorhandenen Versuchsanlagen • Herstellung repräsentativer Kraftstoffchargen für Flottentests der Automobilhersteller
---	--	---



(13) Nachwuchsforschergruppe RECO2



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Das Wissenschaftszentrum seit 1765

Zielsetzung <ul style="list-style-type: none"> - Analyse der Transformationsprozesse für eine CO₂-arme Wirtschaft aus sozio-ökologischer u. technisch-ökon. Sicht - Analyse zukunftsfähiger Lösungen für die innovative Nutzung d. Überschussstroms aus EE und Entwicklung von Optionen für die weitere Reduzierung der auch noch 2050 	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft) <ul style="list-style-type: none"> • Konsortialpartner : TU Bergakademie Freiberg, Sächsische Akademie der Wissenschaften, FZ Jülich, IASS Potsdam, Univ. of Sheffield • RWE 	Verantwortliche Personen <ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. B. Meyer (Leiter IEC, TUBAF) • Dr. R. P. Lee; (Projektkoordinator)
Stand der Technik / Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur stofflichen Nutzung von CO₂ thematisch nach wie vor auf verfahrenstechnische und ökonomische Aspekte fokussiert. Ökologischer stehen die Reduzierung von CO₂-Emissionen, die Einsparung fossiler Kohlenstoffträger und Energieeffizienz im Vordergrund • Möglichkeiten der stofflichen Nutzung von Kohlenstoffträgern gesellschaftlich kaum Gegenstand 	Risiken / Notwendigkeit der Förderung <ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenzsituation • Unter derzeitigen Marktbedingungen schwer darstellbar • Unter derzeitigen politischen Rahmenbedingungen nicht möglich • Notwendigkeit der Förderung (hohes Risiko für die Wirtschaft) 	Projektlaufzeit <ul style="list-style-type: none"> • 01.01.2017 – 31.12.2021 (gelant)
Hauptaktivitäten <ul style="list-style-type: none"> • Recherche zum Stand der Technik Prozessrouten zur Methanol/SNG-Produktion auf CO₂-Basis unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus • Analyse von Rahmenbedingungen und Akzeptanz; technologischer Variantenvergleich • Entwicklung einer Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung 	Arbeitspakete und Meilensteinplanung <ul style="list-style-type: none"> • AP 1: Stand der Technik, sozi-ökolog. Rahmenbedingungen • AP 2: Bilanzierung von Wertschöpfungsketten • AP 3: Nachhaltigkeitsbewertung • AP 4: Akzeptanz von CCU • AP 5: Handlungsempfehlungen 	Projektressourcen <ul style="list-style-type: none"> • 4 WMA
Nutzen / Lieferobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Konzepten für wettbewerbsfähige LCE-Technologien • Konzept für Nachwuchsforschergruppe • Vorbereitung von Forschungsanträgen 	Verwertungsplan <ul style="list-style-type: none"> • Qualifizierungsarbeiten der Nachwuchswissenschaftler 	Beitrag zur Nachwuchssicherung <ul style="list-style-type: none"> • Fachkräfte für Unternehmen • Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker • Potential für Einrichtung einer Nachwuchsforschergruppe





(14) Nachwuchsforschergruppe STEEP-CarbonTrans



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Das Wissenschaftszentrum seit 1765

Zielsetzung <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau einer Nachwuchsforschergruppe • Analyse von Rohstoffalternativen für die chemische Industrie unter sozialen, technologischen, ökonomischen, ökologischen und politischen Aspekten • Verbesserung des Verständnisses des Rohstoffsystems als sozial-technisches System 	Partner (Wissenschaft + Wirtschaft) <ul style="list-style-type: none"> • TU Bergakademie Freiberg (IEC) • Universität Stuttgart (Zrius) • University of Sheffield • Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig • Université de Luxembourg 	Verantwortliche Personen <ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. B. Meyer (Leiter IEC, TUBAF) • Dr. R. P. Lee; (Projektkoordinator)
Stand der Technik / Innovationspotenzial <ul style="list-style-type: none"> • Einzelaspektbewertungen für alternative Rohstoffe (vorrangig für Energieerzeugung) vielfältig vorhanden, keine einheitlicher und ganzheitlicher Bewertungsrahmen • Geringes Wissen und Akzeptanz in verschiedenen Interessengruppen, Bedarf an Maßnahmen zur Förderungen des Engagements 	Risiken / Notwendigkeit der Förderung <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Ergebnisse nicht garantiert • Kurzfristig keine wirtschaftlich verwertbaren Lieferobjekte 	Projektlaufzeit <ul style="list-style-type: none"> • 01.09.2017 – 31.08.2022
Hauptaktivitäten <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer ganzheitlichen Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung • Erarbeitung einer einheitlichen Datengrundlage auf Basis von Prozessmodellen der Wertschöpfungsketten • Prozessbewertung nach STEEP-Kriterien • Untersuchung von Wahrnehmung und Akzeptanz von alternativen Rohstoffen, Maßnahmen zur Verbesserung und Partizipation 	Arbeitspakete und Meilensteinplanung <ul style="list-style-type: none"> • AP 1: Bewertung bestehender und erfolgsversprechender Technologien und Prozesse • AP 2: Bewertung der Wertschöpfungskette von alternativen kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen • AP 3: Wahrnehmung, Akzeptanz und Wissensstand innerhalb der Gesellschaft über alternative kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe und damit verbundener Technologien und Infrastrukturen • AP 4: Maßnahmenentwicklung & Entscheidungsmatrix • AP 5: Projektmanagement 	Projektressourcen <ul style="list-style-type: none"> • 3 WMA • 2 Gastwissenschaftler
Nutzen / Lieferobjekte <ul style="list-style-type: none"> • Entscheidungsmatrix zur Bewertung von Rohstoffalternativen in der chemischen Industrie • Maßnahmen zur Verbesserung von Wissensstand, Akzeptanz und Partizipation verschiedener Interessengruppen bezüglich alternativer Rohstoffe • Qualifikation von Nachwuchswissenschaftlern 	Verwertungsplan <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau einer Nachwuchsforschergruppe • Bereitstellung der Untersuchungsergebnisse als Online-Tool zur Verbesserung der Entscheidungsfindung • Langfristig wirtschaftliche Verwertung als Dienstleistung zur Wirtschaftsberatung 	Beitrag zur Nachwuchssicherung <ul style="list-style-type: none"> • Fachkräfte für Unternehmen • Qualifikation und Verbesserung der Karrierechancen junger Akademiker • Einrichtung einer Nachwuchsforschergruppe

Anlage 3

Aufstellung der eingereichten Projektanträge

Tabelle A3-1. Übersicht über Projektanträge, die mit Unterstützung durch das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON erstellt und zur Förderung außerhalb des BMBF-Programms Zwanzig20 eingereicht wurden

Themenbereich	Kurzbezeichnung des Projekts	Projektpartner	Förderprogramm	Projektschwerpunkt	TRL	Fördervolumen, Mio. EUR
CO2-Nutzung, unter Einkopplung von EE-Strom	P2X	VW, Audi, Shell, TUBAF	BMBF, Kopernikus	Ottokraftstoff aus CO2 und EE-Strom	6	1,4
	e-KeroSyn	TUBAF, CCS, hycells	HYPOS-Konsortium	Luftfahrtkraftstoff aus CO2 und EE-Strom	5	0,4 (ab 10.2017)
	CODY	TUBAF	BMW	CO2-Nutzung für die Herstellung von Chemiegrundstoffen	6	0,6
	RECO2	TUBAF	BMBF	Bewertung der Prozessrouten der stofflichen CO2-Nutzung	-	beantragt, abgelehnt
	DirektPtX	CAC, TUBAF	BMBF, CO2Plus	Stromeinkopplung in erdgasbasierte Syntheseprozesse	4	beantragt, abgelehnt
CO2-arme stoffliche Rohstoffnutzung, Schließung von Stoffkreisläufen	PolygenerationAnnex	RWE, TUBAF	BMW	flexible Prozesse der Kohlechemie	-	0,3
	HotVeGas	Linde, TU München, TUBAF	BMW	gekoppelte energetische und stoffliche Kohlenutzung	5	1,5
	Erdölbegleitgas	TUBAF, CAC, IChPW Zabrze	ERA.Net RUS Plus	stoffliche Nutzung von Erdölbegleitgasen in Erdölländern	6	0,1
	Industrieprojekt	TUBAF, Bergbauuni St. Petersburg	Industriefinanziert	Potenzialbewertung für stoffliche Kohlenutzung in Russland	-	0,1
	Industrieprojekt	SynFuels China	Industriefinanziert	kohlebasierte Herstellung synthetischer Kraftstoffe	6	0,8
	STEEP	TUBAF	BMBF	Bewertung C-haltiger Ressourcenalternativen für die chemische Industrie	-	2,0 (ab 09.2017)
	HyCycling	UVR-FIA, IChPW Zabrze, TUBAF	EU, Horizon2020	Rückgewinnung kritischer Metalle aus kombinierten Abfallströmen	4	beantragt, abgelehnt
PyroRes	Weißbach GmbH, TUBAF	EU, EFRE	Stoffliche Verwertung von C-haltigen Produktionsreststoffen	4	beantragt, abgelehnt	
Effizienzsteigerung für HT-Anwendungen	KORRISTENT	LEAG, TU Dresden, TUBAF	BMW	verbesserte Materialien für Hochtemperatur-Anwendungen	5	3,2
	Virtuhcon	TUBAF	BMBF, ZIK-Programm	fortschrittliche Modellierung für Metallurgie und HT-Konversion	5	18
	OptoVirt	TAF, TUBAF	BMW	modellierungsbasierte Technologieentwicklung für HT-Prozesse	5	1,2
	ProVirt	TUBAF	EU, ESF	Nachwuchsforscherguppe Virtual Engineering	-	1,5
	SlimPOX	Linde, TUBAF	EU, KIC InnoEnergy	Erhöhung der Material-/Energieeffizienz erdgasbasierter Syntheserouten	6	beantragt, abgelehnt
	3DBurner	TUBAF	BMBF, VIP+	Innovative Komponenten für HT-Konversionsprozesse	6	beantragt, abgelehnt
Metallurgie	Industrieprojekt	POSCO, TUBAF	Industriefinanziert	Effizienzsteigerung bei der Roheisenerzeugung	4	0,1
	Retrace	ArcelorMittal, TUBAF	EU, RFCS	Alternative C-Quellen für die Eisenmetallurgie	5	beantragt, abgelehnt
Investitionen Dritter in Forschungsinfrastruktur	ZeHS, in Freiberg	TUBAF	Bund, 91b	Bau einer neuen Versuchshalle inkl. Versuchsanlagen für HT-Prozesse	-	41
	Virtuhcon, in Freiberg	TUBAF	BMBF, ZIK	Forschungsinfrastruktur für die Validierung fortschrittlicher HT-Technologien	-	5
	Technikum 3000, in Freiberg	TUBAF	Land Sachsen	Technikumhalle für die Demonstration neuer Rohstofftechnologien	-	6
	Demo-Zentrum, in Leuna	MIBRAG, ROMONTA, InfraLeuna TUBAF, Fraunhofer IMWS	BMBF, Sachsen-Anhalt	Demonstrationszentrum für CO2-freie Kohlechemie (in Vorbereitung)	-	noch offen

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Vorhaben: Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Baitalow, Dr. Felix Gutte, Dr. Heiner Lee, Dr. Roh Pin Appelt, Dr. Jörg Keller, Florian Barth, Stephan Meyer, Prof. Bernd	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2016
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) TU Bergakademie Freiberg Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) 09599 Freiberg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03ZZF51
	11. Seitenzahl 110
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 11055 Berlin	13. Literaturangaben 24
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 30
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Vorhaben „Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON“ wurde im Rahmen der BMBF-Maßnahme „Zwanzig20 - Partnerschaft für Innovation“ im Zeitraum 2014-2016 gefördert. Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Kooperationsstruktur geschaffen, mit der die in den neuen Bundesländern vorhandenen wissenschaftlichen, technologischen und unternehmerischen Kompetenzen im Zusammenhang mit der Entwicklung, großtechnischen Demonstration und Vermarktung von LCE-Technologien (LCE - Low Carbon Economy) zusammengeführt werden. Das Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON hat organisationsübergreifend - unter Einbeziehung universitärer, außeruniversitärer Kompetenzen und wirtschaftlicher Partner - die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den Bereichen erneuerbare Energie, Kohlenstoffchemie, Metallurgie und Kreislaufwirtschaft koordiniert und vorangetrieben. Die zahlreichen vom Zwanzig20-Forum INNOVATION IN CARBON initiierten und zur Förderung außerhalb des BMBF-Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ gebrachten Verbundvorhaben zur Entwicklung und Umsetzung fortschrittlicher LCE-Technologien sind auf volkswirtschaftlich und gesamtgesellschaftlich bedeutsame Herausforderungen der Energie- und Rohstoffwenden gerichtet und werden in Zukunft die mitwirkenden Unternehmen in die Lage versetzen, sich auf Leitmärkten nachhaltig mit neuen Produkten und Technologien zu positionieren. Langfristig wird die Verstetigung des aufgebauten Netzwerkes INNOVATION IN CARBON weit über den Förderzeitraum hinaus angestrebt. Das Forum soll sich nachhaltig als eine wirksame Innovationsstruktur für die Konzipierung, Entwicklung und Umsetzung neuer LCE-Technologien mit großer Anziehungskraft für Unternehmen der Energie- und Rohstoffwirtschaft etablieren.	
19. Schlagwörter Zwanzig20-Forum, Low Carbon Economy, Energiewende, Rohstoffwende, erneuerbare Energien, Kohlenstoffchemie, Metallurgie, Kreislaufwirtschaft, Sektorkopplung, strombasierte Kraftstoffe, Organisationskonzept, Managementkonzept, Kooperationsnetzwerk, Delphi-Studie, Durchführbarkeitsstudien, Projektsteckbriefe, Projektbeantragung, Nachwuchsforschergruppe, LCE-Technologietransfer, Energie-Stoff-Transformation	
20. Verlag Technische Informationsbibliothek (TIB)	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Project: Twenty20-Forum INNOVATION IN CARBON	
4. author(s) (family name, first name(s)) Baitalow, Dr. Felix Gutte, Dr. Heiner Lee, Dr. Roh Pin Appelt, Dr. Jörg Keller, Florian Barth, Stephan Meyer, Prof. Bernd	5. end of project 31.12.2016
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) TU Bergakademie Freiberg Institute for Energy Process Engineering and Chemical Engineering (IEC) 09599 Freiberg	9. originator's report no.
	10. reference no. 03ZZF51
	11. no. of pages 110
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 11055 Berlin	13. no. of references 24
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 30
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Project "Twenty20-Forum INNOVATION IN CARBON" was funded in 2014-2016 within the BMBF program "Twenty20 – Partnership for Innovation". During the project a cooperation network was established, which brings together the scientific, technological and corporate competences in the field of the development, large-scale demonstration and commercialization of LCE technologies (LCE – Low Carbon Economy), available in East Germany. The Twenty20-Forum INNOVATION IN CARBON coordinates and supports the activities of universities, scientific organizations and industrial partners in the branches of renewable energy, carbon chemistry, metallurgy and closed cycle economy. Twenty20-Forum INNOVATION IN CARBON had initiated a series of cooperation projects aimed to the development and implementation of advanced LCE technologies. Several of these project proposals were accepted for funding in further programs besides the BMBF program "Twenty20 – Partnership for Innovation". The considered technologies address important economical and social challenges of Energiewende and Rohstoffwende in Germany. Based on these technology developments, companies-members of the Twenty20-Forum will be able to offer new products and technologies for the future markets. In the long term, the continuation of the created cooperation network INNOVATION IN CARBON is intended, in order to implement a strong and effective innovation structure for the initiation, development and commercialization of new LCE technologies with high attractiveness for industrial partners for energy and raw material companies.	
19. keywords Twenty20-Forum, Low Carbon Economy, Energiewende, Rohstoffwende, renewable energies, carbon chemistry, metallurgy, closed cycle economy, sector coupling, renewable liquid fuels, organization model, management model, cooperation network, Delphi study, Feasibility studies, Project letters, project proposals, graduated school, LCE technologies transfer, Energy-Material-Transformations	
20. publisher Technische Informationsbibliothek (TIB)	21. price