

# Forschungsplan

für das 3. Forschungsintervall von SCI4climate.NRW

Ein Ergebnis der Themenfelder des Forschungsprojektes SCI4climate.NRW

**SCI4climate.NRW** ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen unterstütztes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie im Jahr 2050. Das Projekt ist innerhalb der Initiative IN4climate.NRW verankert und repräsentiert die Seite der Wissenschaft. Das Projekt erforscht die technologischen, ökologischen, ökonomischen, institutionellen und (infra-)strukturellen Systemherausforderungen für produzierende Unternehmen in Nordrhein-Westfalen. Ein transdisziplinärer Prozess mit den Partnerinnen und Partnern aus der Industrie und Wissenschaft erarbeitet gemeinsam mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie.

### **Bibliographische Angaben**

Herausgeber: SCI4climate.NRW  
Veröffentlicht: Oktober 2021  
Leitung: Prof. Dr. Stefan Lechtenböhrer, Wuppertal Institut  
Koordination: Themenfeld 0 Christoph Zeiss, Wuppertal Institut  
BearbeiterInnen: Themenfeld 1 Ulrich Seifert, Fraunhofer UMSICHT  
Themenfeld 2 Dr. Balint Simon, RWTH Aachen  
Themenfeld 3 Dr. Sascha Samadi, Wuppertal Institut  
Themenfeld 4 Dr. Thilo Schaefer, IW Köln  
Kontakt: [christoph.zeiss@wupperinst.org](mailto:christoph.zeiss@wupperinst.org)

Bitte zitieren als: SCI4climate.NRW (Hrsg.) 2021: Forschungsplan für das 3. Forschungsintervall von SCI4climate.NRW, Wuppertal

**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis.....2

Abbildungsverzeichnis.....3

Tabellenverzeichnis.....4

**1 Übersicht und Einordnung des Forschungsplans.....5**

**2 Ziele von SCI4climate.NRW .....5**

**3 Organisatorische Struktur von SCI4climate.NRW.....6**

**4 Forschungsziele und -inhalte der Themenfelder im 3. Forschungsintervall .....8**

**4.1 Themenfeld 1 Technologien und Infrastrukturen .....9**

4.1.1 Ziele des Themenfelds .....9

4.1.2 Forschungsfragen in Themenfeld 1 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall .....10

**4.2 Themenfeld 2 Produkte und Wertschöpfungsketten.....14**

4.2.1 Ziele des Themenfeldes .....14

4.2.2 Forschungsfragen im Themenfeld 2 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall .....15

**4.3 Themenfeld 3 Szenarien und Transformationspfade.....21**

4.3.1 Ziele des Themenfeldes .....21

4.3.2 Forschungsfragen in Themenfeld 3 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall .....22

**4.4 Themenfeld 4 Rahmenbedingungen .....25**

4.4.1 Ziele des Themenfeldes .....25

4.4.2 Forschungsfragen im Themenfeld 4 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall .....27

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tätigkeitsschwerpunkte der Projektpartner von SCI4climate.NRW in den Themenfeldern .....	6
Abbildung 2: Flow-chart der Aktivitäten in dem 3. Forschungsintervall .....	16
Abbildung 3: Zentrale Forschungsfragen und vorgesehene Aktivitäten im Themenfeld 3 im dritten Forschungsintervall .....	24

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitsplan des Themenfeldes 1 für das 3. Forschungsintervall .....	13
Tabelle 2: Arbeitsplan des Themenfeldes 2 für das 3. Forschungsintervall .....	20

## 1 Übersicht und Einordnung des Forschungsplans

SCI4climate.NRW ist ein dialogorientiertes interaktives Forschungsprojekt, das in enger Zusammenarbeit mit Unternehmen aus der energieintensiven Grundstoffindustrie in Nordrhein-Westfalen Wege hin zu einer treibhausgasneutralen Zukunft untersucht. Da es sich um anwendungsorientierte Forschung handelt die direkt auf eine Transformation der Industrie in Nordrhein-Westfalen einwirken soll ist es im Forschungsprojekt notwendig, auf inhaltliche Impulse von Innen und außen zu reagieren. Daher ist das Forschungsprojekt in drei Forschungsintervalle von jeweils 14 Monaten aufgeteilt, zwischen denen jeweils die Möglichkeit der Neujustierung der Forschungsziele vorgesehen ist). Das zentrale Instrument zur Neujustierung der Forschungsziele ist der Forschungsplan. Der Forschungsplan benennt die themenfeldspezifischen Forschungsziele für das nächste Forschungsintervall. Die im Rahmen von SCI4climate.NRW untersuchten Themenfelder sind:

- Themenfeld 1: Technologien und Infrastrukturen (federführend: Fraunhofer UMSICHT)
- Themenfeld 2: Produkte und Wertschöpfungsketten (federführend: RWTH Aachen, Lehrstuhl für Operations Management)
- Themenfeld 3: Szenarien und Transformationspfade (federführend: Wuppertal Institut)
- Themenfeld 4: Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle (federführend: IW Köln)

## 2 Ziele von SCI4climate.NRW

Das Ziel von SCI4climate.NRW ist die wissenschaftliche Betrachtung der Systemherausforderungen, die sich für das Land Nordrhein-Westfalen und die in NRW produzierenden Unternehmen der energieintensiven Grundstoffindustrie bei einer Transformation hin zu einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie im Jahr 2050 stellen. Die wissenschaftlichen Arbeiten und die erstellten Studien sollen im Dialog mit der Industrie das Wissen um mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie erweitern und den Unternehmen und dem Land Informationen zu Handlungsmöglichkeiten liefern.

SCI4climate.NRW untersucht daher die Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsmöglichkeiten einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Grundstoffindustrie in NRW unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit anderen Sektoren in Deutschland und auf internationaler Ebene (dies gilt insbesondere in Bezug auf die Berücksichtigung der Energiesystemtransformation) und der damit verbundenen Voraussetzungen, Herausforderungen, Chancen und Risiken sowie Handlungsoptionen für die verschiedenen Akteursgruppen. Zentral ist dabei neben der rein wissenschaftlichen Perspektive vor allem das Einbeziehen relevanter Forschungsfragen aus Industrie und gesellschaftlichen Gruppen in die Forschungsarbeiten und in den akteursübergreifenden Dialog. Ziele von SCI4climate.NRW sind:

- Das Anstoßen von branchenübergreifender Forschung für technische, infrastrukturelle oder organisatorische Innovationen und damit zusammenhängende Geschäftsideen.
- Die Bereitstellung interdisziplinärer Kompetenzen und die Vernetzung und Verknüpfung verschiedener relevanter Forschungs- und Analysestränge.
- Eine Impulsgebung für die inhaltliche und strategische Ausrichtung und Vernetzung der akademischen Aus- und Fortbildung sowie der Forschung zu den Themen einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Grundstoffindustrie an Universitäten und Hochschulen in NRW.

### 3 Organisatorische Struktur von SCI4climate.NRW

SCI4climate.NRW ist ein Verbund aus insgesamt sechs formal unabhängigen Forschungsvorhaben, die zeitlich parallel laufen und inhaltlich eng aufeinander bezogen sind. Aus dieser förderrechtlichen Konstruktion ergibt sich die in der Abbildung 1 dargestellte Struktur. Horizontal sind die sechs Forschungsvorhaben gekennzeichnet, die jeweils an einen der sechs Forschungspartner vergeben wurden. Die Zusammenarbeit der sechs Vorhaben wird in einem organisatorisch und vier inhaltlich ausgerichteten Themenfeldern organisiert, die vertikal dargestellt sind. Diese sind alle interdisziplinär aufgestellt und zeichnen sich jeweils durch eine spezifische Herangehensweise an die Thematik der Industrietransformation aus. Aus der Kombination der Sichtweisen entsteht im Laufe des Vorhabens ein zunehmend konsistenteres Zukunftsbild einer klimaneutralen und wettbewerbsfähigen Industrie für NRW.

	Themenfeld 0 Koordination und Steuerung		Themenfeld 1 Technologien und Infrastruktur		Themenfeld 2 Produkte und Wertschöpfungsketten		Themenfeld 3 Szenarien und Transformationspfade		Themenfeld 4 Rahmenbedingungen	
Wuppertal Institut	X	Federführung	X		X		X		X	
Fraunhofer UMSICHT	X	Mitarbeit	X							
RWTH Aachen			X		X					
IW Köln							X		X	
VDZ	X									
BFI	X									

Abbildung 1: Tätigkeitsschwerpunkte der Projektpartner von SCI4climate.NRW in den Themenfeldern

- Themenfeld 0 wird vom Wuppertal Institut geleitet. Sein Gegenstand ist zum einen der aktive Dialog mit den Akteuren aus Industrie und Gesellschaft in IN4climate.NRW; hierzu gehört u.a. die Entsendung von zwei Mitarbeitenden in die Geschäftsstelle von IN4climate.NRW. Zum anderen dient dieses Themenfeld der Interaktion und Koordination der Forschungspartner und der Forschungsfelder. In dieses Themenfeld sind zudem die Forschungsbeiträge des BFI und des VDZ integriert.
- Themenfeld 1 wird von Fraunhofer UMSICHT geleitet, wobei insbesondere die RWTH Aachen und das Wuppertal Institut mitarbeiten. Es widmet sich vor allem Technologie- und Innovationsfragestellungen.
- Themenfeld 2 wird von der RWTH Aachen geleitet, das Wuppertal Institut arbeitet mit. Dieses Themenfeld widmet sich der Thematik von der Nachfrageseite und berücksichtigt hierbei insbesondere zirkuläre Wertschöpfungsketten.
- Themenfeld 3 wird vom Wuppertal Institut geleitet, das IW Köln arbeitet mit. Hier werden primär gesamtsystemische Aspekte und die Verbindung zum Energiesystem bearbeitet. Aufgrund seiner Perspektive nimmt das Themenfeld eine inhaltlich verbindende Stellung innerhalb der Forschungsfelder von SCI4climate.NRW ein.

- Themenfeld 4 wird vom IW Köln geleitet, das Wuppertal Institut arbeitet mit. Es beschäftigt sich mit den (politischen) Rahmenbedingungen für eine Transformation der Grundstoffindustrie in NRW.



## 4 Forschungsziele und -inhalte der Themenfelder im 3. Forschungsintervall

Inhaltlich werden die Arbeiten von SCI4climate.NRW durch das Gesamtziel geleitet, Grundlagen für die Entwicklung hin zu einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Grundstoffindustrie in NRW im Sinne der Ziele des Übereinkommens von Paris zu schaffen. Dieses Ziel beschreibt im Grundsatz eine Transformation der heute bestehenden, zentral auf der Nutzung fossilen Kohlenstoffs beruhenden Industrien und Infrastrukturen hin zu solchen, die eine vollständige Klimaneutralität in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ermöglichen.

Es erscheint zentral und für die Industrie in NRW potenziell überlebenswichtig, mögliche Transformationspfade zu antizipieren und die damit verbundenen Chancen, Nutzen und Risiken abzuwägen und besser handhaben zu können und somit besser auf die zentralen Zukunftsherausforderungen vorbereitet zu sein. Deshalb sollen sich Diskussionen und Analysen im Rahmen von SCI4climate.NRW an mit dem Pariser Klimaschutzziel kompatiblen Emissionsminderungsszenarien orientieren und eine Auseinandersetzung mit entsprechend weitreichenden Veränderungsszenarien ermöglichen. Hierzu gehört es auch, potentielle disruptive (und damit ggf. auch kontroverse) Entwicklungslinien früh zu erkennen und hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Chancen und Risiken für das Land und die Unternehmen des Landes zu bewerten.

SCI4climate.NRW kann für das dritte und letzte Forschungsintervall auf die Arbeiten der ersten beiden Forschungsintervalle, auf die intensive Zusammenarbeit mit den Unternehmen der Grundstoffindustrie in NRW und die enge Zusammenarbeit mit der Geschäftsstelle IN4climate.NRW aufbauen. Die Ergebnisse der Arbeit von SCI4climate.NRW sind auf der Website von IN4climate.NRW unter <https://www.in4climate.nrw/ergebnisse/sci4climatenrw/> dokumentiert und öffentlich verfügbar. Dazu gibt es auch eine Vielzahl von Ergebnissen, die gemeinsam von SCI4climate.NRW mit der Initiative IN4climate.NRW und den Unternehmen der Grundstoffindustrie erarbeitet und auf der Seite <https://www.in4climate.nrw/ergebnisse/in4climatenrw/> öffentlich verfügbar sind.

Durch die vorliegenden Arbeiten wurden zentrale Grundlagen für die Umsetzung einer industriellen Transformation gelegt, die sich heute schon in politischen und Unternehmensentscheidungen widerspiegeln. Es gibt heute schon ein besseres Verständnis für die Technologien und Systemzusammenhänge des Einsatzes von Wasserstoff in der Grundstoffindustrie. Für diese und andere Technologien soll im Themenfeld 1 unter anderem einer Roadmap für zentrale Technologie- und Infrastrukturen entstehen, die geeignet sind, die angestrebte THG-Neutralität der Grundstoffindustrie in NRW zu erreichen. Im Themenfeld 2 wird es vermehrt um die Stoffströme und Wertschöpfungsketten gehen, die ausgehend von der Grundstoffindustrie Bestandteil einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft sein können. Im Themenfeld 3 wird anhand von weiteren Szenarien untersucht, welche Auswirkungen die Erkenntnisse aus der bisherigen Arbeit (z.B. Kreislaufwirtschaft oder CCU) auf die Transformation der Industrie im Gesamtsystem haben werden. Und im Themenfeld 4 werden notwendige politische Instrumente zur Transformation der Industrie untersucht, ohne die eine Wertschöpfung für klimaneutrale Produkte nicht erfolgen wird. Auf den folgenden Seiten stellt jedes der Themenfelder seine Schwerpunkte für das dritte und letzte Forschungsintervall von SCI4climate.NRW vor.

## 4.1 Themenfeld 1 Technologien und Infrastrukturen

### 4.1.1 Ziele des Themenfelds

Das Themenfeld 1 dient der Identifikation zentraler (Schlüssel-)Technologiebedarfe entlang der Transformationspfade der energieintensiven Grundstoffindustrie bis 2050 in NRW. Ergänzend zu den in Themenfeld 3 ermittelten Transformationspfaden für eine klimaneutrale und wettbewerbsstarke Grundstoffindustrie leitet Themenfeld 1 Entwicklungslinien für die identifizierten Technologien und Infrastrukturbedarfe ab. Das Themenfeld liefert somit einen Baustein für ein Gesamtbild der klimaneutralen Grundstoffindustrie zur Mitte des Jahrhunderts in NRW. Eine entsprechende Roadmap „Technologien und Infrastruktur“ basierend auf in den ersten beiden Intervallen identifizierten zentralen Technologiebausteine sowie Entwicklungslinien bildet das finale Ergebnis im Forschungsintervall 3. Sie wird mit den bestehenden Strategien und Roadmaps des Landes sowie der Wirtschaft verglichen.

Besondere Betrachtung erfährt die Kooperation verschiedener Industrien (industrial symbiosis und branchenübergreifende Zusammenarbeit). Dies betrifft insbesondere die neue Verschaltung von Wertschöpfungsketten im Sinne der Circular Economy zur Defossilisierung von Prozessen. Durch die Kopplung unterschiedlicher Technologien ergeben sich komplexere Strukturen, die auf neue Art und Weise zu planen und optimieren sind. Dies betrifft insbesondere die Einbindung erneuerbarer Energien an Industriestandorten. Für die branchenübergreifende Zusammenarbeit sind neben einem abgestimmten Vokabular auch erweiterte Kompetenzen erforderlich; ein entsprechender Weiterbildungsbedarf wird, wenn erkennbar, im Rahmen der Arbeiten erfasst und in die Roadmap integriert.

Im Zuge der Arbeiten in Themenfeld 1 werden Infrastrukturbedarfe bzw. Entwicklungserfordernisse bestehender und zukünftiger technischer Strukturen (Strom, Wärme, [synthetisches] Erdgas, H<sub>2</sub>, Produkte, CO<sub>2</sub> etc.) und organisatorischer bzw. betrieblicher Strukturen analysiert, woraus die Ableitung von Entwicklungslinien für zentrale Technologiefelder erfolgt, um eine klimaneutrale und zukunftsfähige Grundstoffindustrie in NRW zu ermöglichen. Folgende Teilziele werden verfolgt:

- Ableitung von Innovationsbedarfen und Entwicklungslinien für zentrale Technologiefelder sowie Schlüsseltechnologien einer klimaneutralen Grundstoffindustrie und der dafür benötigten Infrastrukturen aus den Arbeitsgruppen mit der Wirtschaft
- Identifikation von F&E-Bedarfen sowie Pilotanwendungen von Schlüsseltechnologien bzw. Technologieelementen
- Identifikation von Innovations- und Forschungspolitikerfordernissen in Bezug auf Technologiefelder, Schlüsseltechnologien bzw. Technologieelemente
- Aufzeigen von der Potenzialen der Circular Economy bei der Defossilisierung der Prozesse in der Grundstoffindustrie
- Darstellung der Flexibilität bei der weitgehenden Umstellung von Industrieprozessen auf nicht fossil-basierte (dekarbonisierte) Prozesse
- Potenzialanalyse sektorenübergreifender Möglichkeiten der Ressourceneffizienz (z. B. industrielle Abwärmenutzung, Kreislaufwirtschaft insbesondere unter dem Aspekt der effizientesten Nutzung des eingesetzten Kohlenstoffs) und Stärkung industrie-symbiotischer Ansätze
- Zusammenführen der Entwicklungslinien in TF1 zu einer Roadmap

- Gegenüberstellung der Roadmap aus TF1 mit Strategien und Roadmaps des Landes bzw. der Wirtschaft

Die Ziele des Themenfeldes werden im Diskurs mit Akteuren aus der Wirtschaft in den Arbeitsgruppen im Zeitverlauf entsprechend des gemeinsamen Erkenntnisprozesses diskutiert und fortlaufend konkretisiert sowie angepasst. Übergreifende Schwerpunkte des Themenfelds 1 in Bezug auf die Forschungsintervalle sind wie folgt zu sehen:

**Forschungsintervall 1:** Im ersten Forschungsintervall ging es um die Identifikation und Festlegung zu betrachtender industrieller Schlüsseltechnologien. Dies erfolgte auf Basis des Austauschs mit den Stakeholdern in IN4climate.NRW im Rahmen der verschiedenen Veranstaltungen. Für die Beschreibung der Schlüsseltechnologien wurden Daten zusammengetragen und die Potenziale der Technologien analysiert. Die Analyse umfasste sowohl verfügbare als auch favorisierte Low-Carbon-Technologien. Im Rahmen der Arbeitsgruppen in IN4climate.NRW wurde im ersten Forschungsintervall in Verbindung mit den hinsichtlich der zu betrachtenden Schlüsseltechnologien und Infrastruktur gewonnenen Erkenntnissen erste F&E-Bedarfe ermittelt. Für die Deckung dieser Bedarfe wurde an der Entwicklung geeigneter Umsetzungsprojekte gearbeitet. Insgesamt wurden wichtige Grundlagen für die weitere Arbeit gelegt.

**Forschungsintervall 2:** Aufbauend auf den Erkenntnissen des ersten Forschungsintervalls fokussierte das Forschungsintervall 2 auf die Flexibilisierung und Umstellung von Prozessen in Abstimmung vor allem mit industriellen Stakeholdern hinsichtlich Kosten und Nutzen sowie die Ausprägung cross-industrieller und branchenübergreifender Netzwerke. Ein Schwerpunkt der Betrachtung bildet hierbei die notwendige Infrastruktur im Bereich erneuerbarer Energien, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf den technischen Risiken, den rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der Bereitstellung elektrischer und thermischer Energie.

**Forschungsintervall 3:** Im Forschungsintervall 3 erfolgt die Zusammenführung der Erkenntnisse aus den vorausgegangenen Forschungsintervallen dergestalt, dass Technologien, Infrastrukturen und Geschäftsmodelle den bestehenden Strategien der Branchen der Wirtschaft sowie des Landes NRW gegenübergestellt werden. Erkennbare Grenzen und Chancen identifizierter Low-Carbon-Technologien werden spezifiziert und dienen als Grundlage für anstehende Entscheidungsprozesse hinsichtlich des weiteren Entwicklungsbedarfs relevanter Schlüsseltechnologien. Aus der Diskussion mit den Akteuren der Arbeitsgruppen in IN4climate.NRW werden Hinweise zu derart weitergehenden Prozessen und Technologien für die Klimaneutralität der Grundstoffindustrien in Nordrhein-Westfalen in die Ergebnismatrix des Themenfeldes aufgenommen. Im Rahmen der Zusammenführung der Ergebnisse werden auch die noch offenen Fragen sowie die Einbindung relevanter Akteure diskutiert.

#### 4.1.2 Forschungsfragen in Themenfeld 1 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall

In Themenfeld 1 steht forschungsintervallübergreifend die folgende übergeordnete Forschungsfrage im Mittelpunkt:

Wie sieht eine Roadmap auf Basis unterschiedlicher Entwicklungslinien für zentrale Technologiefelder und Infrastrukturen aus, die geeignet sind, die angestrebte Treibhausgas-Neutralität der Grundstoffindustrie in NRW bis 2045 zu erreichen?

Für das Themenfeld 1 werden aus dieser übergeordneten Forschungsfrage für das 2. Forschungsintervall konkrete Forschungsfragen zu den folgenden Themen abgeleitet:

- Technologiefelder und Infrastrukturen: Wie sehen Entwicklungslinien für zentrale Technologiefelder und Infrastrukturen aus, die geeignet sind, die angestrebte THG-Neutralität der Grundstoffindustrie in NRW zu erreichen? (A 1.2.3)

*Arbeitsschritte:*

- Zeitliche Einordnung der technischen Entwicklungsschritte im Dialog mit den Arbeitsgruppen der Initiative IN4climate.NRW
- Verknüpfung der Entwicklungslinien in einer Roadmap

*Produkte:*

- Bericht zur Roadmap (Dezember 2022)

- Wie sieht die künftige Gasinfrastruktur aus? Welche Entwicklungen sind vorgesehen und was wurde im Projekt ermittelt? (A 1.2.2)

*Arbeitsschritte:*

- Zusammenführung der Ergebnisse zu den Infrastrukturen für Wasserstoff und Kohlendioxid (Sicherheitsaspekte, Flexibilität, Entwicklungen, rechtliche Anforderungen)
- Diskussion mit den Partnern in den Arbeitsgruppen
- Abgleich mit Strategien und Roadmaps außerhalb des Projekts

*Produkte:*

- Bericht zu den Infrastrukturen (September 2022)

- Abschluss der Arbeiten am Optimierungsframework (A 1.4.2)

*Arbeitsschritte:*

- In den Forschungsintervallen 1 und 2 wurde ein objektorientiertes Optimierungsframework entwickelt. Das Framework ermöglicht die Optimierung von Multisektorensystemen nach flexibler Zielfunktion und auf Basis ökologischer Randbedingungen.
- In Forschungsintervall 3 soll das Framework als Open-Source Code mit einer begleitenden Publikation auf Git veröffentlicht werden. Die offene Bereitstellung ermöglicht eine breite Weiterverwendbarkeit in Wissenschaft und Praxis und schafft zusätzliche Transparenz. Um die Nutzbarkeit zu erhöhen, wird im Forschungsintervall 3 der Fokus auf die Erhöhung der Wiederverwendbarkeit gelegt: Dazu wird ein Minimalbeispiel zur Verdeutlichung der Frameworkfunktionen erstellt.
- Zusätzlich erfolgt eine Dokumentation des Framework-Codes. Zudem wird ein Graphical User Interface (GUI) zur Ergebnisauswertung erstellt. Im Graphical User Interface sollen die Produktflüsse und Komponentendimensionierungen einsehbar sein. Zudem wird eine Schnittstelle geschaffen, um Ergebnisse direkt aus dem Interface in üblichen Grafik- und Tabellenformaten zu exportieren. (AP 1.4.2)

*Produkte:*

- Open-Source-Code des Optimierungsframeworks zur Optimierung von Multisektorensystemen (Dezember 2022)
- Dokumentation und GUI für die Ergebnisauswertung (Dezember 2022)
- Technik und Rahmenbedingungen: Wie gestaltet sich das Wechselspiel zwischen technischen Entwicklungen einerseits und planungs-/zulassungsrechtlichen Rahmenbedingungen andererseits (Standortanforderungen, Beherrschung technischer Risiken)?

*Arbeitsschritte:*

- Darstellung der existierenden planungs- und zulassungsrechtlichen Verfahren für die zu betrachtenden technologischen Entwicklungslinien unter Rückgriff der Arbeiten in Forschungsintervall 2 und Fortführung bzw. Update der Arbeiten
- Analyse technischer Normen für die geplanten Infrastrukturen und Technologien
- Ermittlung von Bedarfen an ergänzenden Instrumenten und Verfahren

*Produkte:*

- Update des Berichts des Forschungsintervalls 2 zu den Rahmenbedingungen (Juni 2022)
- Bericht zu den technischen Normen (März 2022)
- Bericht zu bestehenden Bedarfen (Oktober 2022)
- Erstellung einer Ergebnismatrix mit Fokus auf F&E (A 1.5)

*Arbeitsschritte:*

- Zusammenführung der Ergebnisse und Dokumentation offener Fragestellungen aus Sicht F&E
- Diskurs zur Einbindung relevanter Akteure (A 1.3.1)

*Produkte:*

- Bericht Ergebnismatrix (Dezember 2022)

Tabelle 1: Arbeitsplan des Themenfeldes 1 für das 3. Forschungsintervall

	2021				2022											
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
<b>Technologiefelder</b>																
Zeitliche Einordnung																
Roadmap																
<b>Gasinfrastruktur</b>																
Zusammenführung																
Diskussion																
Vergleich																
Bericht																
<b>Optimierungsframework</b>																
Bereitstellung																
GUI																
Dokumentation																
<b>Rahmenbedingungen</b>																
Planungsrecht																
Techn. Normen																
Bedarfsanalyse																
<b>Ergebnismatrix</b>																
Offene Punkte																
Diskussion																
Bericht																

## 4.2 Themenfeld 2 Produkte und Wertschöpfungsketten

### 4.2.1 Ziele des Themenfeldes

Die Zielsetzung von Themenfeld 2 „Produkte und Wertschöpfungsketten“ (TF 2) besteht in der Analyse und Spezifizierung nachfrageseitiger Maßnahmen für eine klimaneutrale Industrie und in der Entwicklung ressourceneffizienter und zirkulärer Wertschöpfungs-systeme. Es erfolgt die Analyse und Quantifizierung von Effizienz-, Konsistenz- und Suffizienzpotenzialen für die aus den Grundstoffen hergestellten Güter und Güterbündel sowie für die diesen zugrunde liegenden Bedürfnisfelder. TF 2 setzt dabei am Grundstoff an und analysiert und optimiert den weiteren Lebenszyklus vom Produktdesign über die Produktion und Nutzung bis hin zur hochwertigen Kreislaufführung sowie die Umsetzung dieser Maßnahmen in den entsprechenden Wertschöpfungsketten.

Das übergreifende Ziel des TF 2 greift die Erstellung von Langfrist-Strategien auf, um die Nachfrage nach Grundstoffen im Hinblick auf Umwelt- und Klimaanforderungen, Ressourcenverbrauch und Wertschöpfung zu optimieren. Die Zielsetzung besteht in der konsequenten Umsetzung von Kreislaufstrategien auf allen Ebenen (Grundstoff, Werkstoff, Bauteil, Gut). Außerdem gilt es, die eingebrachte Wertschöpfung möglichst intensiv zu nutzen und lange zu erhalten (z. B. durch Nutzungsdauerverlängerung, Dienstleistungskonzepte) oder diese durch ressourceneffizientere Güter oder Dienstleistungen zu ersetzen.

Damit decken die Aktivitäten des TF2 die folgende Forschungsthemen ab:

- die Identifikation von Potenzialen zur Emissionsreduktion und zur Steigerung der Ressourceneffizienz entlang des Lebenszyklus ausgewählter Güter bzw. Güterbündel,
- die technische und ökonomische Analyse und Gestaltung hochwertiger Kreislaufsysteme für ausgewählte Güter und Güterbündel unter Berücksichtigung alternativer Technologien,
- die Analyse der beteiligten Wertschöpfungsketten und die Ableitung von Konzepten und Impulsen für innovative klimaschonende Maßnahmen in diesen Wertschöpfungsketten (in Kooperation mit TF3/4),
- die Analyse von Kreislaufstrategien und der aus diesen resultierenden Handlungsoptionen (in Zusammenarbeit mit TF3/4),
- die Identifikation von neuen Ansätzen zum Produktdesign und von innovativen Geschäftsmodellen zur Befriedigung der der Güternachfrage zu Grunde liegenden Bedürfnisfelder (in Zusammenarbeit mit TF3/4),
- die nachfolgende Optimierung der untersuchten Strategien und die Entwicklung von Roadmaps zu ihrer Umsetzung.

Die Ziele des Themenfeldes 2 sind aufgrund der komplexen Beziehungen und Interdependenzen zwischen den Aktivitäten Lebenszyklus, Wertschöpfungskette, Produktdesign und Kreislauf-Strategien forschungsintervall- und themenfeldübergreifend. Die Auswahl der vertieft zu analysierenden Güter und Güterbündel sowie Bedürfnisfelder erfolgt in enger Abstimmung mit den Stakeholdern der Initiative In4Climate.NRW vor allem mit Vertretern in den Arbeitsgruppen Circular Economy und Kohlendioxidwirtschaft. Die Untersuchungsobjekte und Modelle werden in Forschungsintervall 3 entsprechend des gemeinsamen Erkenntnisprozesses von Wissenschaft und Innovationsteams detailliert diskutiert, konkretisiert und bei Bedarf angepasst.

Übergreifend hatten bzw. haben die Forschungsintervalle folgende Zielschwerpunkte:

**Forschungsintervall 1:** In dem ersten Forschungsintervall erfolgte die Schaffung von zentralen Grundlagen und die Entwicklung von Methoden für die Analyse von Lebenszyklen, Wertschöpfungsketten, Bedürfnisfeldern und Kreislaufstrategien. Es wurden zunächst (Verpackungs-)Kunststoffe als detailliert zu untersuchendes Güterbündel in enger Abstimmung mit den Industriepartnern konkretisiert und methodische Vorarbeiten zu diesem Stoffstrom durchgeführt. Darüber erfolgte die Definition von Schnittstellen zwischen den Themenfeldern. Diese Arbeiten bildeten die Grundlage für die inhaltliche Interaktion mit den Innovationsteams, insbesondere mit dem Innovationsteam Circular Economy. Am Ende dieses Forschungsintervalls wurden die zentralen Erkenntnisse und möglichen Optionen für die weitere Forschung zusammengetragen und in der Statuskonferenz diskutiert.

**Forschungsintervall 2:** Das zweite Forschungsintervall baut auf den Erkenntnissen des ersten Forschungsintervalls auf. Die Methoden und Erkenntnisse aus dem ersten Forschungsintervall wurden intensiv mit den Stakeholdern diskutiert und bildeten eine zentrale Grundlage für das Forschungsprogramm des zweiten Forschungsintervalls. Es liegen prozessorientierte und technische und ökonomische Modelle vor, die die Bewertung und den Vergleich von Technologiealternativen sowie die Untersuchung der Umsetzung dieser Technologien in Wertschöpfungsketten erlauben. Auf dieser Basis können vertiefte Analysen und die Untersuchung von Szenarien erfolgen. Hierbei werden verstärkt die Szenarien aus TF3 herangezogen. Im zweiten Forschungsintervall erfolgten die wissenschaftliche Aufbereitung und Publikation der vorliegenden Erkenntnisse, um die Anbindung an die internationale wissenschaftliche Diskussion sicherzustellen.

**Forschungsintervall 3:** Im dritten Forschungsintervall wird – aufbauend auf bisher meist sektorspezifischen und stoffstromspezifischen Erkenntnissen der vorhergehenden Forschungsintervalle – der Fokus auf die Interdependenzen zwischen Stoffströmen und Industrien bzw. Sektoren gelegt. Hierbei werden drei Schwerpunkte gesetzt. Im ersten Schwerpunkt werden Stoffstrommodelle der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie dahingehend untersucht, welche Auswirkungen die klimaneutrale Transformation eines Sektors bzw. einer Industrie auf die anderen Sektoren aufweist. Im zweiten Schwerpunkt erfolgt die Analyse von Maßnahmen für eine Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie, wobei alle bisher betrachteten Grundstoffe (Stahl, Chemie, Zement) integriert berücksichtigt werden. Im dritten Schwerpunkt wird die Kooperation mit den anderen Themenfeldern (v.a. TF 3 und 4) gestärkt mit dem Ziel, verschiedene Szenarien und regulatorische Rahmenbedingungen stärker in den Analysen von TF 2 zu berücksichtigen sowie Erkenntnisse aus TF2 für die Gestaltung der Szenarien und Rahmenbedingungen zu nutzen. Die Forschungsthemen werden in den Arbeitsgruppen der Initiative IN4climate.NRW mit den dort vertretenen Industriepartnern intensiv diskutiert, um wichtige Forschungsfragen und -richtungen zu identifizieren.

#### 4.2.2 Forschungsfragen im Themenfeld 2 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall

Die Aktivitäten im dritten Forschungsintervall sind um die drei genannten Schwerpunkte gruppiert (siehe Abbildung 2). Thema 1 greift die Erweiterung der in den ersten beiden Forschungsintervallen entwickelten Industriemodelle auf. Durch eine integrierte Energie- und Industriesektoranalysen sollen die Voraussetzungen für eine Umsetzung der Reduktionspotentiale untersucht und Materialengpässe bzw. Materialsubstitutionen als Folge der Transformation der Sektoren abgeleitet werden. Der zweite Schwerpunkt fokussiert auf die THG-Minderung im Bausektor durch eine Erweiterung des im zweiten Forschungsintervall entwickelten Gebäudebestandsmodells und Analyse der sich durch Neubau, Sanierung und Abriss ergebenden Stoffströme und Kreislaufpotenziale. Zudem werden die the-



menfeldübergreifenden Aktivitäten mit Themenfelder 3 und 4 in Rahmen Modellentwicklung und Implementierung von Wirtschaftsszenarien vertieft.

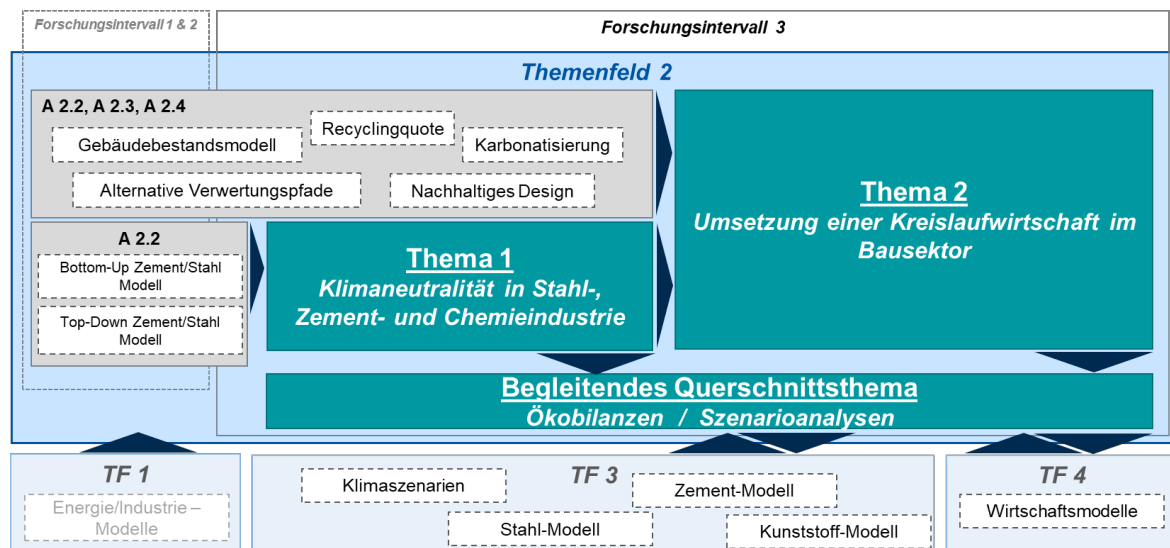


Abbildung 2: Flow-chart der Aktivitäten in dem 3. Forschungsintervall

### Thema 1: Klimaneutralität in Stahl-, Zement- und Chemieindustrie - Voraussetzungen für die Umsetzung der Reduktionspotentiale

Das übergeordnete Ziel dieses Themenblocks besteht in der Analyse der Auswirkungen der Transformation im Energiesektor auf die Stoff- und Energieströme der Stahl- und Zementindustrie.

- **Themenschwerpunkt 1.1:** Energie- und Stoffstrom-Änderungen in der Stahl- und Zementindustrie durch die Transformation im Energiesektor

In den Forschungsintervallen 1 und 2 erfolgte die Modellierung der Stahl-, Kunststoff und Zementindustrie anhand von Top-Down und Bottom-Up Ansätzen (Stoffstromanalyse, integrierte Prozessanalyse). Der Auf- und Ausbau von Kohlenstoffkreisläufen, beispielsweise durch das Recycling von Kunststoffabfällen, der Einsatz von Biomasse und/oder die Umsetzung von Wasserstoff-Stahl werden wichtige Stoff- und Energieströme grundlegend ändern. Das Ziel besteht darin, die Auswirkung dieser Änderungen zu analysieren, potenzielle Engpässe in Stoffströmen abzuleiten und entsprechende Substitutionspotenziale zu eruieren.

*Produkte/Meilensteine:*

- Dynamische Materialflussanalyse (Modell – 2022 Q2)
- Intersektorale Stoffstromkarten NRW (Stahl, Zement, Energie – 2022 Q2)
- **Wissenschaftlicher Artikel** zu Energie- und Stoffstrom-Änderungen (2022 Q3).

- **Themenschwerpunkt 1.2:** Umweltökonomische Gesamtrechnungen in der Grundstoffindustrie mit Fokus auf Export und Import des theoretischen CO<sub>2</sub>-Gehaltes (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) von Gütern (Zusammenarbeit mit TF3)

Das Modell zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emission von Gütern basiert auf Bottom-Up und Top-Down Ansätzen von Prozessökobilanzen und um Umweltfaktoren erweiterte Input-Output-Analysen (EIO LCA). Das Ziel der Analyse besteht darin, eine Bilanz der THG-Potenziale (Treibhausgaspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) zwischen den im Inland hergestellten und exportierten Gütern gegenüber den Importgütern zu berechnen. Durch die Analyse soll die Frage beantwortet werden, ob die verarbeitende Industrie von der Defossilisierung der Grundstoffindustrie profitieren kann.

*Produkte/Meilensteine:*

- **Fact Sheet** zum CO<sub>2</sub>-Gehalt von Import und Exportgütern im Bereich Stahl, Zement und Polymer-Kunststoffen (2022 Q2)

## **Thema 2: Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bausektor**

Das Ziel besteht darin, die Auswirkungen technischer Entwicklungen und politischer Maßnahmen im auf die Stoffströme des (Wohn-) Gebäudebaus innerhalb des Zeithorizonts 2020-2050 zu quantifizieren und entsprechende Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen zu analysieren.

- **Themenschwerpunkt 2.1:** Weiterentwicklung des Gebäudebestandsmodells für NRW mit Hinblick auf das Thema Sanierung und Neubau bis 2050 (altes Dämmmaterial und Fenster, Dachziegel, R-Beton, usw.)

Im zweiten Forschungsintervall wurde das Gebäudebestandsmodell der Abt. CE (WI) auf den Gebäudebestand in NRW angepasst und so die Bau- und Abbruchabfälle bestimmt, die bis zum Jahr 2050 aus dem Rückbau von Wohngebäude entsteht. Diese Abbruchabfälle können nach Materialkategorien sortiert werden. Im dritten Forschungsintervall soll das Modell um Sanierung und zukünftigen Neubau erweitert werden, um so den zukünftigen Materialinput im (Wohn-)Gebäudebestand von NRW abzuschätzen, der sich aus Neubau und Sanierung ergibt. Die Bau- und Abbruchabfälle werden um die Menge der Abfälle, die während der Sanierung anfallen, erweitert (altes Dämmmaterial und Fenster, Dachziegel, Haustechnik). Für die Abbruch- und Sanierungsabfälle können dann unterschiedliche Verwertungswege untersucht werden.

*Produkte/Meilensteine:*

- Auswertung der Statistik und Szenariobildung zur Sanierung und Neubau bis 2050 als **Meilenstein** des Berichtes (A2.3 - 2022 Q1)

■ **Themenschwerpunkt 2.2:** Bewertung alternativer Verwertungspfade ausgewählter Bauabfälle

Es wird eine integrative Bewertung des infrastrukturellen Systems alternativer Verwertungspfade unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien angestrebt. Dazu erfolgt zunächst die optimierte Gestaltung und Analyse alternativer Verwertungspfade anhand ökologischer Kriterien. Die optimale Auslegung des Gesamtsystems sowie die Analyse von Trade-Offs und die Auswirkungen politischer Maßnahmen, welche zur Anreizsetzung für die Schließung von Stoffkreisläufen genutzt werden, werden darauf aufbauend untersucht.

*Produkte/Meilensteine:*

- **Bericht** zu Verwertungspfaden und Verwertungspotenzialen im Bausektor NRW (2022 Q4)
- **Wissenschaftlicher Artikel** zu regionalen Kreislaufmaßnahmen in der Bauindustrie NRW (2022 Q4)

■ **Themenschwerpunkt 2.3:** Nachhaltiges Design vor dem Hintergrund veränderter Nachfrage A 2.4 zielt darauf ab Gestaltungsoptionen in Produkt-/Dienstleistungssystemen zu identifizieren, die die Ressourceneffizienz steigern. Im Bereich Kunststoffe, insbesondere Verpackungen, erfolgte hierzu in Forschungsintervall 1 und 2 ein Mapping von Ansatzpunkten für nachhaltiges Produktdesign sowie für zirkuläre Geschäftsmodelle. Weiterhin erfolgte eine empirische Analyse der Nachfrageentwicklung bzw. Struktur in NRW. Darüber hinaus wurden Designszenarien für Verpackungs- bzw. Lebensmittellogistiksysteme entworfen und mit Methoden des Transition Design Guide bewertet. Im Bereich Bauen und Wohnen wurde eine ähnliche Vorgehensweise verfolgt. Es wurde eine Sammlung von Prinzipien für nachhaltiges Bauen erarbeitet und ein Co-Creation Workshop für ressourcenleichtes Bauen und Wohnen durchgeführt.

In Forschungsintervall 3 werden in Bezug für den Bereich Bauen und Wohnen weitere Ansatzpunkte für nachhaltiges Design für Produkt-/Dienstleistungssysteme ermittelt. Dazu werden die Designszenarien strukturiert aufbereitet, um zur impulsgebenden Kommunikation genutzt werden zu können. Darüber hinaus werden neben klassischen Dekarbonisierungsoptionen ergänzend auch Potentiale berücksichtigt, die sich aus Ansätzen der Bioökonomie ergeben. Parallel zur Forschung zu Designansätzen wird im FI3 angestrebt, eine wissenschaftliche Publikation zur Nachfrageentwicklung auf Basis der EVS Daten auf den Weg zu bringen.

Weitere Schritte bzw. Produkte in Forschungsintervall 3 sind daher:

*Produkte/Meilensteine:*

- Aufbereitung der im Workshop erarbeiteten Designszenarien im Bereich Bauen & Wohnen und Herausarbeitung der innovativen Ansätze (A2.4 - **Kurzbericht** - 2022 Q2)
- weitere Sammlung von Designoptionen und -prinzipien für Nachhaltiges Bauen und Wohnen (u.a. um Bereich Bioökonomie) und finale Aufbereitung (A 2.4 - **Fact Sheet** - 2022 Q3)

- Wissenschaftliche Publikation zur Analyse der Nachfrageentwicklung und der damit verbundenen ökologischen Footprints (A 2.4 - **Artikel, preprint Status** - 2022 Q3)

**Begleitendes Querschnittsthema:** Zusammenspiel von Prozess- und Lebenszyklusanalysen (TF2) mit Szenarioanalysen (TF3)

- **Themenschwerpunkt BQ.1:** Koordinierung der TF übergreifenden Zusammenarbeit, insbesondere mit TF 3/TF 4
- **Themenschwerpunkt BQ.2:** Analyse der Auswirkungen ausgewählter TF2-Strategien auf die Nachfrage und den Energie- und Ressourceneinsatz der Grundstoffe

Wie in den vergangenen zwei Forschungsintervallen wird die Koordination des themenfeldübergreifenden Austauschs und der Zusammenarbeit insbesondere mit Themenfeld 3 einen Schwerpunkt bilden. Hierzu zählt die Organisation und Durchführung von internen Austauschformaten und Workshops, aus denen zuletzt sektorspezifische Kleingruppen hervorgegangen sind, welche auch in Zukunft weitergeführt werden sollen. Primäres Ziel dieser Aktivität ist es, geeignete nachfrageseitige Ergebnisse aus TF2 in die Szenarioentwicklung von TF3 einzubringen und darüber deren Auswirkungen auf die Nachfrage und den Energie- und Ressourceneinsatz der Grundstoffe abzuschätzen. Außerdem wird geprüft, welche Erkenntnisse aus TF3 sich für die Arbeiten in TF2 aufbereiten lassen. In den letzten Forschungsintervallen hat sich gezeigt, dass insbesondere die wechselseitige Einbringung von Annahmen und Ergebnissen in die themenfeldspezifische Modellierung mit hohen methodischen und inhaltlichen Hürden verbunden ist, und es kontinuierliche Austauschformate für die Identifizierung geeigneter Inhalte und Vorgehensweisen bedarf.

*Produkte/Meilensteine:*

- TF übergreifende Koordination (**Protokollierung**, 2022 Q1 und Q3 in Zwischenberichte)
- **Fact Sheet** greift zusammenfassend das Ergebnis der themenfeldübergreifenden Arbeit auf (2022 Q4)

Tabelle 2: Arbeitsplan des Themenfeldes 2 für das 3. Forschungsintervall

	2021				2022											
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
<b>Thema 1</b>																
<i>Schwerpunkt 1.1</i>																
<b>Modell</b>																
<b>Stoffstromkarte</b>																
<b>Wiss. Artikel</b>																
<i>Schwerpunkt 1.2</i>																
<b>Fact Sheet</b>																
<b>Thema 2</b>																
<i>Schwerpunkt 2.1</i>																
<b>Meilenstein</b>																
<i>Schwerpunkt 2.2</i>																
<b>Wiss. Artikel</b>																
<b>Bericht: Bausektor</b>																
<i>Schwerpunkt 2.3</i>																
<b>Kurzbericht</b>																
<b>Fact Sheet</b>																
<b>Wiss. Artikel</b>																
<b>Querschnittsthema</b>																
<i>Schwerpunkt BQ 1</i>																
<b>Protokoll</b>																
<i>Schwerpunkt BQ 2</i>																
<b>Fact Sheet</b>																

## 4.3 Themenfeld 3 Szenarien und Transformationspfade

### 4.3.1 Ziele des Themenfeldes

Das übergeordnete Ziel des Themenfeldes ist die Erarbeitung und Analyse von konsistenten Szenarien für eine (weitgehend) klimaneutrale und wettbewerbsstarke Grundstoffindustrie in NRW bis 2045. Die Szenarien nehmen dabei auch Erkenntnisse aus den anderen Themenfeldern auf – z. B. aus den Bereichen Technologieentwicklung, Potenziale nachfrageseitiger Maßnahmen sowie Veränderungen der Rahmenbedingungen – und integrieren sie zu konsistenten Gesamtbildern.

Zugleich liefern die Szenarien einen wichtigen Analyserahmen und Hintergrund für die Beurteilung

- von Technologien, Infrastrukturen, Geschäftsstrategien und Geschäftsfeldern,
- von politischen Strategien, Instrumenten und Maßnahmen und
- von ökonomischen Aus- und Wechselwirkungen sowie der Entwicklung der Standortqualität NRWs und der Zukunftsfähigkeit der dortigen Grundstoffindustrien.

Die Szenarien und die in ihnen beschriebenen Transformationspfade dienen dazu, verschiedene mögliche Pfade zu einer (weitgehend) klimaneutralen Grundstoffindustrie zu beschreiben und in Bezug auf ihre Auswirkungen sowie daraus resultierende Handlungserfordernisse zu analysieren. Dafür werden zentrale Rahmenbedingungen und interne wie externe Einflussfaktoren für die energieintensive Industrie identifiziert und verschiedene Strategien und Pfade entwickelt, detailliert beschrieben und analysiert, die der Zielstellung einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie in NRW gerecht werden.

Die in den Szenarien beschriebenen Transformationspfade sollen unter Berücksichtigung von zu erwartenden Umsetzungshürden sowie von Aspekten der Innovations- und Investitionszyklen energieintensiver Industrie ausgearbeitet und dargestellt werden. Verzweigungspunkte, die verschiedene Pfade separieren (z. B. Aufbau bestimmter Infrastrukturen, langfristige Investitionen), werden identifiziert und Zeitfenster beschrieben, innerhalb derer entsprechende Entscheidungen getroffen werden können bzw. müssen.

Darüber hinaus sollen die erarbeiteten Szenarien u. a. in Bezug auf ihre Robustheit, geopolitische Einordnung (z. B. bezüglich der Rolle von Energieimporten), Treibhausgasemissionen und ggf. andere gesellschaftliche Ziele untersucht und miteinander verglichen werden. Dabei wird eine Reihe zusammenhängender Aspekte betrachtet, z. B.:

- die Weiterentwicklung von Infrastrukturen und die Rolle von Energieimporten. Darunter die
  - Identifikation zentraler Infrastrukturbedarfe und Nutzungsmöglichkeiten bestehender Strukturen („Assets“)
  - Einbettung der infrastrukturellen Erfordernisse in NRW in den nationalen und europäischen Kontext (z. B. grenzüberschreitende Strukturen)
  - Umgang mit der Gefahr problematischer Pfadabhängigkeiten und Sicherung adäquater Anpassungsmöglichkeiten (Flexibilität, modulare Entwicklungsschritte)
- die Umsetzungsbedingungen technischer, ökonomischer, politischer und gesellschaftlicher Art und Hinweise auf Maßnahmengestaltung (in Kooperation mit Themenfeld 4) und dabei u. a. die Identifikation möglicher „No-Regret“-Maßnahmen, die der Entwicklung aller (bzw. möglichst vieler) Szenarien dienlich sind.

Die Forschungsintervalle hatten bzw. haben in Themenfeld 3 die folgenden Zielschwerpunkte:

**Forschungsintervall 1:** Im 1. Forschungsintervall ging es um die Schaffung von zentralen Grundlagen für die Erstellung und Analyse von Szenarien. Hier wurden die Strukturen angelegt, Methoden konkretisiert und methodische Vorarbeiten durchgeführt. Außerdem wurden erste branchenspezifische Entwicklungspfade modelliert, die eine Bandbreite denkbarer Entwicklungen in der Grundstoffindustrie bis 2050 skizzierten. Diese Arbeiten bildeten die Grundlage für die im 2. Forschungsintervall intensivierte inhaltliche Interaktion mit Stakeholdern aus Industrie und Gesellschaft. Bereits im Laufe des ersten Forschungsintervalls erfolgte im Rahmen der Initiative „IN4climate.NRW“ ein vielfältiger Austausch mit Stakeholdern aus Industrie, Politik und Gesellschaft.

**Forschungsintervall 2:** Das 2. Forschungsintervall baute auf den Erkenntnissen des vorherigen Forschungsintervalls auf, vertiefte diese und nutzte sie als Basis für weitergehende Analysen. Die ersten Überlegungen zu branchenspezifischen Entwicklungspfaden aus dem 1. Forschungsintervall wurden dabei in mehreren Workshops intensiv mit Stakeholdern aus Industrie, Politik und Gesellschaft diskutiert. Rückmeldungen aus diesem „Dialogprozess“ flossen im Laufe des 2. Forschungsintervalls in die Arbeiten zur Entwicklung der Klimaschutzszenarien ein. Zudem wurden in diesem Forschungsintervall die Arbeiten zum Thema „Renewables Pull“ begonnen, es erfolgte also ein Einstieg in die Beschäftigung mit der Frage, wie relevant in Zukunft Verlagerungen industrieller Produktion hin zu Standorten mit sehr guten bzw. günstigen Bedingungen für erneuerbare Energien werden könnten.

**Forschungsintervall 3:** Ein zentrales Ziel im 3. Forschungsintervall ist die Fertigstellung mehrerer Klimaschutzszenarien für die Industrie in NRW. Diese Szenarien werden sowohl die Anmerkungen der Stakeholder aus Industrie, Politik und Gesellschaft berücksichtigen, die insbesondere im Dialogprozess im Laufe des 2. Forschungsintervalls vorgebracht wurden, als auch die mittlerweile verschärften Klimaziele der Bundes- und Landesregierung (u. a. Klimaneutralität bis 2045 anstatt bis 2050). Die unterschiedlichen Voraussetzungen und Implikationen der verschiedenen erarbeiteten Szenarien sollen im 3. Forschungsintervall herausgearbeitet und mit Stakeholdern aus Industrie und Gesellschaft diskutiert werden. Dabei soll mit Hilfe der Szenarien unter anderem der Frage nachgegangen werden, wann welche Entscheidungen zum Ausbau von Infrastruktur oder zur Investition in technische Anlagen nötig sein werden, um die Ziele einer klimaneutralen Industrie in NRW zu erreichen und welche Infrastruktur- oder Technologiepfade sich gegenseitig ausschließen würden. Außerdem sollen im 3. Forschungsintervall konkrete Erkenntnisse zur zukünftigen Relevanz von „Renewables Pull“ für die Grundstoffindustrie in NRW erarbeitet werden.

#### 4.3.2 Forschungsfragen in Themenfeld 3 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall

Im kommenden 3. Forschungsintervall stehen in Themenfeld 3 die folgenden drei Themen mit den aufgeführten Forschungsfragen im Mittelpunkt:

- **Mögliche Transformationspfade:** Welche Transformationspfade in Richtung einer (weitgehend) klimaneutralen Industrie in NRW erscheinen aus heutiger Sicht und unter Berücksichtigung der Einschätzungen von Stakeholdern aus Industrie, Politik und Gesellschaft möglich und plausibel? Wo liegen Vor- und Nachteile der verschiedenen Pfade?

*Arbeitsschritte:*

- Fertigstellung der bereits im 2. Forschungsintervall begonnenen Arbeiten an einem „Basis-Klimaschutzszenario“ sowie mehrerer Szenariovarianten.

- Diskussion der verschiedenen Szenarien bzw. Varianten (z. B. hinsichtlich ihrer jeweiligen Realisierungswahrscheinlichkeiten und sozio-ökonomischen Implikationen) mit Stakeholdern aus Industrie, Politik und Gesellschaft.

*Produkte:*

- Bericht, der die ersten entwickelten Szenarien und Varianten dokumentiert und gegenüberstellt (1. Quartal 2022).
  - Bericht, der ein bis zwei weitere erarbeitete Szenarien (z. B. mit starkem Fokus auf Elemente einer Kreislaufwirtschaft) dokumentiert (4. Quartal 2022).
- **Infrastruktur:** Welche Infrastrukturaktivitäten in NRW sind hinsichtlich der Transformation des Industriesektors von zentraler Bedeutung? Welche Mindestmengen an Wasserstoff müssen zukünftig über welche Infrastrukturen zu den industriellen Schwerpunkten NRW transportiert werden? Wie können beim Infrastrukturausbau unerwünschte Lock-in-Effekte vermieden werden?

*Arbeitsschritte:*

- Fortlaufende Identifikation und Analyse wichtiger Veröffentlichungen im Bereich der Transformation des Industriesektors (für ein besseres Verständnis unterschiedlicher bestehender Vorstellungen zur Transformation).
- Vergleich der bestehenden Vorstellungen zur Transformation (inkl. der TF-3-Szenarien) hinsichtlich des jeweils notwendigen Infrastrukturausbaus und Ableitung von robusten Aussagen zum Infrastrukturbedarf.
- Workshop mit Themenfeld 1, um die aus Szenarien abgeleiteten Erkenntnisse zum notwendigen Infrastrukturausbau mit dem technischen Infrastrukturwissen aus Themenfeld 1 zu spiegeln.

*Produkte:*

- Gemeinsamer Bericht zum Thema Infrastruktur mit Themenfeld 1, in dem seitens Themenfeld 3 die Erkenntnisse aus der vorliegenden Literatur sowie den ersten erarbeiteten Szenarien zu robusten Infrastrukturmaßnahmen zusammengefasst und weiterer Forschungsbedarf identifiziert wird (3. Quartal 2022).
- **„Renewables Pull“:** Wie hoch ist für einzelne Produktionsschritte in der Grundstoffindustrie von NRW die Gefahr von Abwanderungen aufgrund einer größeren und kostengünstigeren Verfügbarkeit erneuerbarer Energien in anderen Ländern bzw. Regionen der Welt? Wie könnten entsprechende Abwanderungen über geeignete Instrumente und/oder strategische Partnerschaften minimiert bzw. gestaltet werden?

*Arbeitsschritte:*

- Unter Berücksichtigung relevanter vorliegender Literatur und den TF-3-Szenarien wird für ausgewählte Branchen bzw. Produkte (z. B. die Primärstahlerzeugung) eine Abschätzung der zukünftigen Relevanz dieser Problematik für den Standort NRW vorgenommen.



- In Zusammenarbeit mit Themenfeld 4 (Rahmenbedingungen) 4 erfolgt neben einer Einordnung des Standortfaktors „Energiekosten“ ein Vergleich mit weiteren Standortfaktoren. Zusätzlich werden Politikinstrumente zur Minderung einer möglichen Renewables-Pull-induzierten Abwanderungsproblematik diskutiert.
- Auf einem Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Industrie werden vorläufige Erkenntnisse bzw. Hypothesen zur Diskussion gestellt und die Sichtweisen der Industrie zu diesem Thema eingeholt.

*Produkt:*

- Kurzbericht, der die Erkenntnisse zu “Renewables Pull” und zu möglichen Gegenmaßnahmen darlegt (3. Quartal 2022).

Abbildung 3 liefert einen Überblick über die drei zentralen Forschungsfragen, die in Themenfeld 3 im dritten Forschungsintervall im Fokus stehen, und die zu ihrer Beantwortung geplanten Aktivitäten.

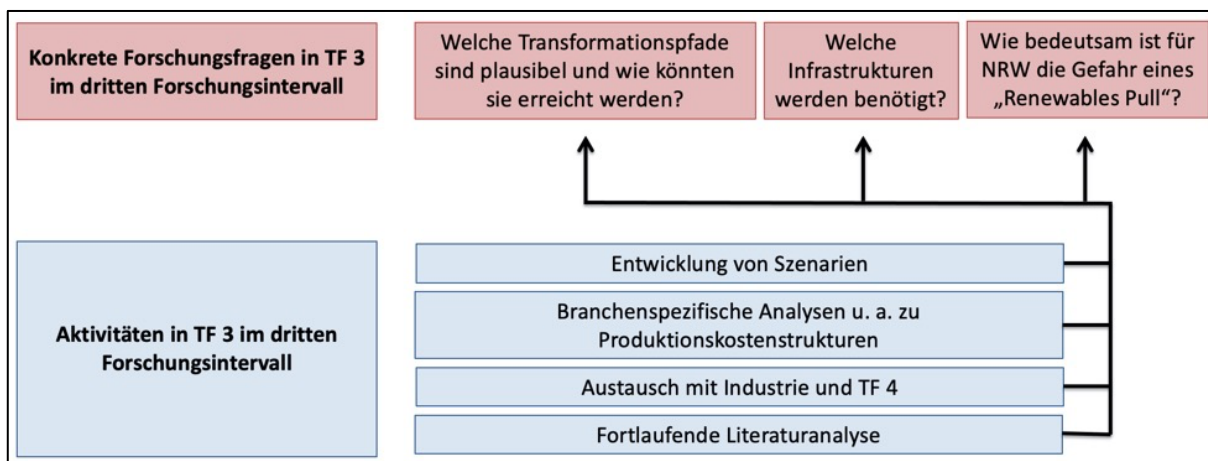


Abbildung 3: Zentrale Forschungsfragen und vorgesehene Aktivitäten im Themenfeld 3 im dritten Forschungsintervall

## 4.4 Themenfeld 4 Rahmenbedingungen

### 4.4.1 Ziele des Themenfeldes

Ziel des Themenfelds ist es, politische Maßnahmen und Handlungsstrategien sowie komplementäre Rahmenbedingungen kriteriengeleitet zu entwickeln und zu prüfen. Diese sollen zum einen darauf abzielen grundlegende Innovationen anzuregen und zum anderen deren Umsetzung am Standort NRW zu begünstigen.

Dabei umfasst der Begriff der Rahmenbedingungen nicht nur politische oder regulatorische Instrumente: Hier ebenso zu betrachten sind ökonomische Rahmenbedingungen, also die Zukunftsfähigkeit und das Aufzeigen neuer unternehmerischer Chancen und Möglichkeiten bzw. tragfähiger Geschäftsmodelle sowie gesellschaftliche Rahmenbedingungen (beispielsweise Akzeptanz). Hierzu gehören insbesondere auch die Berücksichtigung und Betrachtung der Investitions- und Innovationszyklen der Unternehmen in den verschiedenen Branchen.

Themenfeld 4 widmet sich demnach dem politischen und gesellschaftlichen Umfeld des Transformationsprozesses und dabei insbesondere

- Politikinstrumenten und -maßnahmen,
- regulatorischen Rahmenbedingungen,
- Erfolgsbedingungen für klimafreundliche Geschäftsmodelle und den
- Auswirkungen auf das gesellschaftliche Umfeld.

Der Transformationsprozess der Industrie ist bereits in vollem Gange und verläuft im Kontext der Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene. Deshalb ist es in Themenfeld 4 wichtig, die aktuellen Rahmenbedingungen und deren Anpassungen im laufenden politischen Prozess zu erfassen und zu begleiten. Die Europäische Kommission hat zur Umsetzung des „European Green Deal“ ein umfangreiches Maßnahmenpaket, das „Fit-for-55-Package“, beschlossen. Bereits zuvor wurden die deutschen Klimaziele verschärft. Nach der Bundestagswahl im September 2021 steht die dann zu bildende neue Bundesregierung vor der Aufgabe, diese aktuellen und hochrelevanten politischen Entwicklungen in passende Rahmenbedingungen für die deutsche Wirtschaft und damit auch die nordrhein-westfälische Industrie umzumünzen. Deshalb wird die Bearbeitung aktueller klima- und energiepolitischer Fragen einen hohen Stellenwert behalten.

In Zusammenarbeit mit der Gesamtinitiative IN4climate.NRW und den anderen Themenfeldern im Projekt SCI4climate.NRW sind übergreifende Fragestellungen und unterschiedliche Perspektiven von hoher Bedeutung. Gemeinsam mit Themenfeld 1 konnte bereits im 2. Forschungsintervall ein Papier zu den globalen Importpotenzialen im Bereich Wasserstoff entwickelt werden, das nun in die entsprechende Arbeitsgruppe von IN4climate.NRW eingespeist und weiterentwickelt werden kann.

Gemeinsam mit Themenfeld 3 wird das Thema „Renewables Pull“ bearbeitet, das die Verlagerung industrieller Produktion an Standorte mit günstig verfügbaren regenerativen Energien in den Blick nimmt. Zentrale Perspektive für Themenfeld 4 ist dabei die Bedeutung einer verfügbaren nachhaltigen Energieversorgung und die Einordnung in den Kontext weiterer Standortfaktoren, die für die energieintensive Industrie von Bedeutung sind. Dazu können die Ergebnisse einer im 2. Forschungsintervall eigens durchgeführten Unternehmensbefragung genutzt werden. Zudem sollen gemeinsam mit Themenfeld 3 Maßnahmen identifiziert werden, die eine politische Antwort auf dieses Phänomen ermöglichen.

Weitere übergreifenden Fragestellungen betreffen die Auswahl von möglichen Instrumenten, die bestimmte in Themenfeld 3 entwickelte Szenarien geeignet flankieren können sowie die adäquate regulatorische Rahmensetzung für technisch als sinnvoll identifizierte Transformationsschritte. Die Perspektive von Themenfeld 4 ist dabei auf potenzielle Geschäftsmodelle ausgerichtet, mit denen innovative Ansätze zur Einsparung von Emissionen mittel- bis langfristig eigenständig profitabel werden können.

In Themenfeld 4 haben sich dabei wesentliche Querschnittsthemen herauskristallisiert, die dabei adressiert werden:

- Erneuerbare Energien
- Circular Economy
- Wasserstoffwirtschaft
- CO<sub>2</sub>-Wirtschaft

Diese Querschnittsthemen haben auch Anknüpfungspunkte zu den entsprechenden Arbeitsgruppen in IN4climate.NRW.

In **Forschungsintervall 1** wurden zu den zentralen Forschungsfragen grundlegende Analysen durchgeführt. Zur Entwicklung und kriteriengeleiteten Evaluation von klimapolitischen Maßnahmen wurde ein Bewertungsraster und ein entsprechendes Bewertungstool entwickelt und erste grundlegende Analysen von Politikinstrumenten im Hinblick auf die zuvor erarbeiteten Kriterien durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass es ganz entscheidend auf die Ausgestaltungsmerkmale des jeweiligen Instruments ankommt, ob eine im Sinne der Kriterien gewünschte Wirkung eintritt oder nicht. Darüber hinaus wurden die Ausgangsbedingungen der Grundstoffindustrie und der Wasserstoffinfrastruktur untersucht, sowie Erfolgsfaktoren für innovative Geschäftsmodelle und erfolgreiche Strukturwandelprozesse, die relevante Rückschlüsse auf die Herausforderungen des nordrhein-westfälischen Industriestandortes zulassen, ermittelt. Ein Ergebnis war das gemeinsam mit der IN4climate.NRW-Arbeitsgruppe erarbeitete Positionspapier zum Ausbau der Erneuerbaren Energien.

Im **2. Forschungsintervall** erfolgte eine Konkretisierung der bislang abstrakt analysierten Politikmaßnahmen und Prozessschritte insbesondere mit Blick auf grünen Wasserstoff. Zum Thema Kreislaufwirtschaft wurden kompakte Grundlagenpapiere erstellt, die gleichzeitig die Basis für weitere Forschung zu zirkulären Geschäftsmodellen bilden. Zudem wurde gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Rahmenbedingungen ein Papier zur Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen erarbeitet und die Arbeitsgruppe Kreislaufwirtschaft ebenfalls bei ihrer Positionierung unterstützt. Weitere Produkte im 2. Forschungsintervall waren Papiere zum Potenzial grüner öffentlicher Beschaffung, zum Zusammenspiel von europäischem Emissionshandel und der Energiebesteuerung, sowie zur EU-Taxonomie. In einer eigens durchgeführten Patentanalyse wurde die Innovationstätigkeit der nordrhein-westfälischen Grundstoffindustrie im Hinblick auf klimafreundliche Patentanmeldungen unter die Lupe genommen und zusätzlich die Forschungs- und Entwicklungslandschaft untersucht. Die Rolle der Initiative IN4climate.NRW als Intermediär war Gegenstand einer umfangreichen Expertenbefragung, die in einem weiteren Papier aufgearbeitet und eingeordnet worden ist.

In **Forschungsintervall 3** schließlich sollen die Ergebnisse aus dem 2. Forschungsintervall mit den Forschungspartnern und insbesondere auch in den Arbeitsgruppen der Initiative vorgestellt, diskutiert und bei Bedarf weiterentwickelt werden, um die Ergebnisse weiter zuzuspitzen und Handlungsbedarfe innerhalb und außerhalb der Initiative zu identifizieren. Angesichts der politischen Entwick-

lungen in der nationalen und internationalen Klimapolitik ist im letzten Forschungsintervall vorgesehen, auch drängende Themen wie die Bedeutung der EU-Taxonomie und weiterer europäischer Regulierung zu analysieren, aber auch die nationalen Regelungsbedarfe im Bereich der Energieversorgung sowie der Aktualisierung der Wasserstoffstrategie zu adressieren. Weitergeführt werden sollen die Themen Innovationen in Forschung und Entwicklung sowie Kreislaufwirtschaft. Untersucht werden soll zudem die Rolle kommunaler Akteure und transformationsinduzierte Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt.

#### 4.4.2 Forschungsfragen im Themenfeld 4 und deren Bearbeitung im 3. Forschungsintervall

Im 3. Forschungsintervall sind in Themenfeld folgende Forschungsbereiche vorgesehen:

- Politikinstrumente und Handlungsoptionen
- Innovationen und Geschäftsmodelle
- Gesellschaft und Strukturwandel

Im Einzelnen werden in diesen Aktivitätsbereichen die folgenden Themen adressiert. Produkte können Forschungspapiere in unterschiedlicher Länge sein, aber auch kompakte Übersichten, Factsheets und Inputs für Diskussions- oder Positionspapiere von Arbeitsgruppen von IN4climate.NRW.

Im Bereich **Politikinstrumente und Handlungsoptionen** stehen die folgenden Themen auf der Agenda:

- Politikmaßnahmen mit Link zum in TF 3 entwickelten Szenario  
Untersuchung des in TF 3 erstellten Transformationsszenario zur Identifizierung geeigneter politischer Maßnahmen, die einzelne Bestandteile des Szenarios sinnvoll flankieren können.

*Mögliches Produkt:*

- Gemeinsamer Workshop der Themenfelder 3 und 4, inklusive Ergebnisdokumentation

- Energieversorgung  
Zentrale Herausforderungen im Zuge der klimafreundlichen Industrietransformation sind die Energieversorgungssicherheit und die Zukunft der Förderung des Ausbaus der Erzeugung erneuerbarer Energien

*Mögliches Produkt:*

- Kurzbericht oder Policy Paper

- Anforderungen an Fit for 55-Regulierung und –Instrumente  
Die Bestandteile der neuen europäischen Regulierung und deren Bedeutung für die Unternehmen in IN4climate.NRW stehen hier im Mittelpunkt, beispielsweise die Reform des Emissionshandels, der Grenzausgleichsmechanismus, die EU-Taxonomie, die Erneuerbare Energien Richtlinie sowie noch in Aussicht stehende Maßnahmen im Bereich der Kreislaufwirtschaft

*Mögliches Produkt:*

- AG-Papier oder Kurzbericht(e)

Geplante Themen im Bereich **Innovationen und Geschäftsmodelle** sind:

■ **Zirkuläre Geschäftsmodelle**

Auf Grundlage der Vorarbeiten im vorangegangenen Forschungsintervall werden vertiefende Untersuchungen durchgeführt, die Potenziale für zirkuläre Geschäftsmodelle beleuchten. Hierbei besteht auch eine mögliche Schnittstelle zu Arbeiten in Themenfeld 2.

*Mögliches Produkt:*

- Forschungsbericht oder AG-Papier

■ **F+E in Unternehmen / in Kommunen**

Aufbauend auf die Analyse der Patentaktivitäten und der Forschungslandschaft in NRW soll die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit und mögliche Bedarfe in Unternehmen untersucht werden. Die Bedeutung von kommunalen Akteuren kann hierbei auch in Betracht gezogen werden.

*Mögliches Produkt:*

- Kurzbericht

■ **Arbeitsmarkt- und Fachkräfteanalyse**

Die Transformation der Industrie verändert auch die Anforderungen an die Arbeitskräfte und ihre Qualifikationen. Hierzu sollen im 3. Forschungsintervall erste Analysen erfolgen. Dabei gilt es die Arbeitsprofile sogenannter „Green Jobs“ zunächst abzugrenzen und empirische Daten zu Jobcharakteristika und Fachkräftebedarfen im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit und das Entwicklungspotential industrieller Fachkräfte im Kontext der Transformation auszuwerten.

*Mögliches Produkt:*

- Forschungsbericht

Im Bereich **Gesellschaft und Strukturwandel** sollen – neben der Fertigstellung des Papiers zur Bedeutung von Clustern und der Rolle von IN4climate.NRW als Intermediär die folgenden Themen adressiert werden:

■ **Rolle von kommunalen Akteuren**

Die Rolle von kommunalen Akteuren und lokalen Initiativen, darunter öffentliche Betreiber, Verwaltungen, öffentlich-private Kooperationen, kleinere und mittlere Unternehmen oder zivilgesellschaftliche Gruppen, gewinnt für die Umsetzung der Transformation gerade in besonders vom Strukturwandel betroffenen Regionen wie zum Beispiel im Rheinischen Revier an Bedeutung. Die bislang auf (Landes-)Politik, Unternehmen und Wissenschaft fokussierte Analyse soll deshalb auf die Einbindung und Rolle kleingliedriger Strukturen und Prozesse bei der Umsetzung der Transformation auf kommunaler Ebene erweitert werden. Damit wird die lokale Ebene der Mehrebenen Governance der Industrietransformation einbezogen.

*Mögliches Produkt:*

- Kurzbericht

- Renewables Pull / Standortfaktoren

Die Qualität und Ausstattung der Infrastruktur sind entscheidende Faktoren für die Wahl des Produktionsstandorts von Industrieunternehmen. Auch die günstige Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der Energieversorgung ist ein solcher Standortfaktor. Durch die Dekarbonisierung könnten Standorte mit günstig verfügbarer regenerativer Energie deshalb an Attraktivität gewinnen und zu Produktionsverlagerungen anreizen. Gemeinsam mit TF 3 wird dieses Phänomen untersucht.

*Mögliches Produkt:*

- Gemeinsamer Forschungsbericht mit TF 3