

Highlights des zweiten Forschungsintervalls 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: 15. 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
Bitte zitieren als: SCI4climate.NRW 2021 (Hrsg.): Highlights des zweiten Forschungsintervalls von SCI4climate.NRW, Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW	6
1.1 Ziele von SCI4climate.NRW	6
1.2 Organisatorische Struktur von SCI4climate.NRW	6
1.3 Integration in die Initiative IN4climate.NRW	7
2 Ergebnisse aus der Forschung zu Technologien und Infrastrukturen	9
2.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls	9
2.2 Transportinfrastrukturen für Wasserstoff und für Kohlendioxid	9
2.3 Optimierungsframework für industrielle Energiesysteme	10
2.4 Entwicklungslinie Kohlendioxidwirtschaft	11
3 Ergebnisse aus der Forschung zu Produkten und Wertschöpfungsketten	13
3.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls	13
3.2 Integrierte Energie- und Stoffstrommodelle	13
3.3 Akteursnetzwerk der Wertschöpfungskette von Kunststoffverpackungen	16
3.4 Gebäudebestand in NRW	18
4 Ergebnisse aus der Forschung zu Szenarien und Transformationspfaden	20
4.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls	20
4.2 Metaanalyse vorliegender Klimaschutzszenarien für die Industrie	20
4.3 Beschäftigung mit dem Thema „Renewables Pull“	22
5 Ergebnisse aus der Forschung zu Rahmenbedingungen	25
5.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls	25
5.2 Thema Wasserstoff: Den Einstieg schaffen	25
5.3 Thema Kreislaufwirtschaft: Factsheets	27
5.4 Ergebnisse Patentanalyse und Forschungslandschaft	28
6 SCI4climate.NRW Papiere des 2. Forschungsintervalls	32
6.1 Digitalisierung des Kunststoffrecyclings	32
6.2 CO ₂ -Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW: Impuls für eine Infrastrukturgestaltung	32
6.3 Konzeptualisierung des möglichen Renewables-Pull-Phänomens	32
6.4 Metaanalyse von Klimaschutzszenarien für die Branchen Stahl, Zement und Chemie	32

6.5	Fact Sheet 1: Einführung in die Circular Economy (Teil 1 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft).....	32
6.6	Fact Sheet 2: Abfallhierarchie – Die Stufen der Kreislaufwirtschaft (Teil 2 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft).....	33
6.7	Wasserstoff: den Einstieg schaffen.....	33
6.8	Ökologisch nachhaltig oder nicht? Die Einführung der EU Taxonomy for Sustainable Activities 33	
6.9	Wie die EU die 2030-Klimaziele in den Sektoren Straßenverkehr und Gebäudewärme erreichen kann	33
7	Gemeinsam mit IN4climate.NRW erstellte Positionspapiere	34
7.1	Wege in eine klimaneutrale Industrie nach der Corona-Pandemie.....	34
7.2	Chemisches Kunststoffrecycling – Potentiale und Entwicklungsperspektiven	34
7.3	Industriezukunft konsequent Gestalten- Ausbau erneuerbare Energien bei wettbewerbsfähigen Strompreisen als wichtige Faktor für Klimaneutralität.....	34
7.4	Unvermeidbare CO ₂ -Entstehung in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie NRW – Definitionen und Kriterien	34
7.5	Klimaschutzverträge für eine beschleunigte Transformation der Industrie	34
7.6	Industriewärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tätigkeitsschwerpunkte der Projektpartner von SCI4climate.NRW in den Themenfeldern	7
Abbildung 2: Material und Energieflüsse in der Stahlherstellung NRW (Beispiel).....	14
Abbildung 3: Aufteilung des jährlichen Strombedarfs für NRWs Stahl-, Zement- und Chemieindustrie	16
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Graphen der Wertschöpfungskette von Kunststoffverpackungen (Größe der Knoten sind nach Wichtigkeit geordnet)	18
Abbildung 5: Flow-Chart der Abschätzung.....	19
Abbildung 6: Schematische Darstellung von Renewables Pull durch Produktionskostenänderungen infolge einer einheitlichen Verschärfung der Klimaschutzpolitik in den Ländern A und B	23
Abbildung 7: Weitere mögliche Ansätze für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft	26
Abbildung 8: Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle (Statistisches Bundesamt, 2020)	28
Abbildung 9: Klimaschutzpatentanmeldungen 2010-2018 (absolute und relative Entwicklung)	29
Abbildung 10: Klimaschutztechnologien.....	30
Abbildung 11: Relevanz der Forschungsbedingungen in NRW	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Relevanz einzelner Klimaschutzstrategien nach Szenarien (Stahl)	21
Tabelle 2: Politikoptionen für weiteren Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft	26
Tabelle 3: Mittel aus den EU-Forschungsprogramm Horizon 2020	31

1 Das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW

1.1 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.

1.2 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 soll sich im Laufe des Vorhabens ein zunehmend konsistenteres Zukunftsbild einer klimaneutralen und wettbewerbsfähigen Industrie für NRW ergeben.

Das 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 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 Feder- führung	X	X	X	X
Fraunhofer UMSICHT	X Mit- arbeit	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 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

1.3 Integration in die Initiative IN4climate.NRW

SCI4climate.NRW ist ein vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen gefördertes unabhängiges Forschungsvorhaben mit einem transdisziplinären Ansatz, welches eine intensive und aktive Interaktion mit Akteuren aus Industrie und Gesellschaft in NRW beinhaltet. **IN4climate.NRW** ist eine neue und bundesweit bisher einzigartige Arbeitsplattform von Industrie, Wissenschaft und Landesregierung von Nordrhein-Westfalen. Ziel der Initiative ist es Strategien zu erarbeiten, wie die Industrie in Nordrhein-Westfalen ihre hohe Wettbewerbsfähigkeit erhalten, zusätzliches Wachstum erzeugen und zur Erreichung der Pariser Klimaschutzziele beitragen kann. SCI4climate.NRW und IN4climate.NRW arbeiten eng vernetzt und iterativ miteinander zusammen. Zentrale Aspekte der Zusammenarbeit sind:

Innovationsteams und Arbeitsgruppen: In den Innovationsteams und Arbeitsgruppen von IN4climate.NRW arbeiten IndustrievertreterInnen, WissenschaftlerInnen aus SCI4climate.NRW, die Geschäftsstelle IN4climate.NRW und VertreterInnen der Landesregierung miteinander an branchenübergreifenden Dialogen zu Zukunftsvisionen, Innovationen, Finanzierungskonzepte etc. mit der Zielrichtung einer treibhausgasneutralen Produktion und der Herstellung klimafreundlicher Produkte. Die

WissenschaftlerInnen aus SCI4climate.NRW unterstützen den Dialogprozess indem sie ihre Forschungserkenntnisse in die Gremien tragen, die Gremien nutzen um zusätzlich Erkenntnisse aus der Industrie zu erlangen und den Diskussionsprozess fachlich zu strukturieren.

2 Ergebnisse aus der Forschung zu Technologien und Infrastrukturen

2.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls

In Themenfeld Technologien und Infrastrukturen stand forschungsintervallübergreifend die folgende **übergeordnete Forschungsfrage** im Mittelpunkt:

Wie sehen Entwicklungslinien für zentrale Technologiefelder und Infrastrukturen aus, die geeignet sind, die angestrebte Treibhausgas-Neutralität der Grundstoffindustrie in NRW bis 2050 zu erreichen?

Für das Themenfeld Technologien und Infrastrukturen wurden 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, im Rahmen der in Themenfeld Szenarien und Transformationspfade entwickelten Szenarien die angestrebte THG-Neutralität der Grundstoffindustrie in NRW zu erreichen?
- **Wasserstoff-Bereitstellung:** Welche Schritte zur Bereitstellung von Wasserstoff als stoffliche Schlüsselkomponente zur Transformation der Grundstoffindustrie in Richtung Treibhausgasneutralität sind erforderlich?
- **Transportinfrastrukturen:** Welche Schritte zum Aufbau hinreichend leistungsfähiger Transportinfrastrukturen für Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid sind erforderlich?
- **Energiesituation:** Welche elektrische und thermische Energie kann an betrachteten Standorten maximal bereitgestellt werden? Wie erfolgt die optimale Bereitstellung? Wie sieht die Rückkopplung mit der Netzstruktur aus? Welche Schlussfolgerungen ergeben sich hieraus für mögliche Infrastrukturbedarfe?
- **Technik und Rahmenbedingungen:** Wie gestaltet sich das Wechselspiel zwischen technischen Entwicklungen einerseits und planungs-/zulassungsrechtlichen Rahmenbedingungen andererseits (Standortanforderungen, Beherrschung technischer Risiken)?

2.2 Transportinfrastrukturen für Wasserstoff und für Kohlendioxid

Der Ferntransport von (Rein-)Wasserstoff und von Kohlendioxid stellt im Zielbild einer treibhausgasneutralen Grundstoffindustrie in Nordrhein-Westfalen eine wesentliche infrastrukturelle Grundlage dar. Daher befassten sich mehrere im Themenfeld Technologien und Infrastrukturen durchgeführte Arbeiten mit der Analyse der planungs- und zulassungsrechtlichen Voraussetzungen derartiger Transportinfrastrukturen.

Neben einem internen Bericht zu den Rechtsgrundlagen der Errichtung technischer Anlagen und Transportinfrastrukturen in Nordrhein-Westfalen wurde ein interner Bericht zu bestehenden Bedarfen und übertragbaren Lösungsansätzen im Hinblick auf die Überwindung zu erwartender planungs- und zulassungsrechtlicher Hemmnisse bei derartigen Transportinfrastrukturen erstellt. Die zentralen Erkenntnisse aus den Berichten sind:

Kohlendioxid-Transportleitungen für einen geregelten, diskriminierungsfreien Betrieb sind im Kohlendioxid-Speichergesetz (KSpG) bereits grundsätzlich vorgesehen und mit Privilegien analog denjenigen für Gasfernleitungen nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) ausgestattet. Bislang beschränkt sich das KSpG jedoch auf den Kohlendioxid-Transport für CCS-Zwecke; die Übertragbarkeit der Regelungen (und Privilegien) auf den diskriminierungsfreien CO₂-Transport für CCU-Zwecke ist noch unklar. Als ein praktisches Hemmnis für die Errichtung von Rohrfernleitungen für den CO₂-Transport ist auch der Umstand anzusehen, dass die Verordnungsermächtigung des KSpG für eine Verordnung über Sicherheitsanforderungen an CO₂-Transportleitungen bislang nicht umgesetzt worden ist.

Letzteres gilt insbesondere deshalb, weil CO₂-Transportleitungen (bislang) weder unter die Bestimmungen der Rohrfernleitungsverordnung noch der Gashochdruckleitungsverordnung fallen. Somit existiert bislang auch kein spezifisches nationales technisches Regelwerk für den CO₂-Fernleitungstransport. Technische Anforderungen an Pipelines für den CO₂-Transport im Hinblick auf CCS-Zwecke sind international in der ISO 27913 enthalten.

Die ausdrückliche Öffnung des Kohlendioxid-Speichergesetzes auch für CCU-Zwecke und der Erlass einer auf das KSpG gegründeten Verordnung für CO₂-Transportleitungen wären im Ergebnis der Analyse relevante rechtliche Schritte zur Erleichterung einer zeitnahen Errichtung einer entsprechenden Transportinfrastruktur.

In Bezug auf den Fernleitungstransport von Reinwasserstoff schaffen die im August 2021 in Kraft getretenen Änderungen und Erweiterungen des EnWG wesentliche Voraussetzungen für einen künftigen, geregelten (diskriminierungsfreien) Netzbetrieb. Die Weitergeltung von Zulassungen/Privilegien bei der Umstellung von Erdgas- auf Reinwasserstofftransport im vorhandenen L-Gas-Netz schafft die nötige Rechtssicherheit, damit eine derartige Umstellung keine grundsätzlich neuen Planungs- und Zulassungsverfahren auslöst.

Infolge der Änderung der zulassungsrechtlichen Einordnung von derartigen, geregelten Reinwasserstoff-Fernleitungen nach dem Anhang des UVP-Gesetzes (bislang nach Nr. 19.5 „Beförderung von nichtverflüssigten Gasen“, künftig nach Nr. 19.2 „Gasversorgungsleitung i. S. d. EnWG“) ergeben sich auch Änderungen hinsichtlich der anzuwendenden Verordnung und des zugehörigen technischen Regelwerks (bislang RohrFLtgV und Technische Regel für Rohrfernleitungsanlagen (TFRL), künftig GasHDrLtgV und DVGW-Regelwerk, welches „sinngemäß anzuwenden“ ist). Klärungsbedürftig ist auch die in Fernleitungen künftig zu transportierende Qualität des Reinwasserstoffs (> 98 % oder > 99,97 %).

2.3 Optimierungsframework für industrielle Energiesysteme

In den Forschungsintervallen 1 und 2 von SCI4climate.NRW wurde am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der RWTH Aachen ein objektorientiertes Optimierungsframework entwickelt. Das Framework ermöglicht die Optimierung von Multisektorensystemen nach ökonomischen und ökologischen Kriterien und unter Berücksichtigung ökologischer Randbedingungen. Das Framework wurde im Rahmen einer ersten Fallstudie angewendet. Als beispielhafter energieintensiver Standort wurde ein energieautarkes Stahlwerk betrachtet (siehe Reinert et al., 2020¹).

¹ Reinert, C., Vögler, O., Schellhas, L., Kämper, A., Bardow, A. (2020): Ein Open-Source Software-Framework zur Entwicklung emissionsarmer industrieller Energiesysteme. Vortrag auf der Konferenz „Wissenschaft trifft Wirtschaft am 4.12.2020“

Die Modellierung ökologischer Indikatoren mithilfe eines Life Cycle Assessments unterliegt der Annahme, dass sich Produktionsketten von Brennstoffen und Energiewandlern nicht verändern. Da die Treibhausgasemissionen von Produktionsketten wesentlich durch die Verfügbarkeit emissionsarmen Stroms beeinflusst werden, wurde untersucht, wie die globale Energiewende die Energiewandler-Infrastruktur und die Optimierung von Energieversorgungssystemen beeinflusst (Reinert et al. 2021²).

2.4 Entwicklungslinie Kohlendioxidwirtschaft

Der Weg zu einer treibhausgasneutralen Grundstoffindustrie in NRW verlangt nach einem Umgang mit weiterhin in Prozessen anfallendem Kohlendioxid, welches auch durch Maßnahmen der Effizienzsteigerung oder den Wechsel auf eine künftige Energiebereitstellung ohne die Nutzung fossiler Energieträger nicht vollständig zu vermeiden sein wird. Prominente Beispiele hierfür sind die Herstellung von Zementklinker und von gebranntem Kalk, wobei rohstoffbedingt durch den notwendigen Einsatz von Carbonatgestein im Brennprozess Kohlendioxid ausgetrieben wird. Für das in diesen Prozessen weiterhin unvermeidbar entstehendes Kohlendioxid werden Technologien zur Abscheidung und Aufbereitung benötigt, außerdem geeignete künftige Transportinfrastrukturen, um das Kohlendioxid einer dauerhaften Speicherung (z. B. in salinären Aquiferen, CCS) oder in begrenztem Umfang einer Nutzung (CCU) zuzuführen.

Ausarbeitungen, die im Rahmen der Arbeiten des Themenfeldes Technologien und Infrastrukturen entstanden, sind insbesondere in Diskussionspapiere der Initiative IN4climate.NRW eingeflossen, die dort in der AG „Kohlendioxidwirtschaft“ erarbeitet wurden.

Zum Diskussionspapier „Unvermeidbare CO₂-Entstehung in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie NRW – Definition und Kriterien“, Oktober 2020³, wurden Vorschläge zur Definition entwickelt, um eine Abgrenzung insbesondere zu dem bei der Strom- und Wärmeproduktion aus fossilen Energieträgern anfallenden (und durch die Umstellung auf erneuerbare Energien grundsätzlich vermeidbaren) Kohlendioxid zu ermöglichen.

Für ein noch in Erarbeitung befindliches Diskussionspapier der AG „Kohlendioxidwirtschaft“, welches sich vertieft mit Infrastrukturanforderungen für den Umgang mit weiterhin anfallendem Kohlendioxid auseinandersetzt, wurden Darstellungen zur Abscheidung und Nutzung des Kohlendioxids erarbeitet. Die nötigen Voraussetzungen, um den niedrigen spezifischen Energiegehalt des Kohlendioxids im Fall einer Weiterverarbeitung zu spezifisch energiereichen Produkten auszugleichen, werden dabei ebenso behandelt wie spezifischen Merkmale der Prozesse und Produkte, bei denen Kohlendioxid unter der Bildung basischer Produkte aus Carbonatgestein ausgetrieben wird.

Weitergehende, in Technologien und Infrastrukturen erstellte Betrachtungen nehmen die Rolle von Kohlendioxid als Rohstoff und künftigen Kohlenstoffträger für Produktionsprozesse der (Petro-)Chemie in einer künftigen Grundstoffindustrie in den Fokus, die weitgehend auf fossile Kohlenstoffquellen in Form energiereicher Verbindungen wie Kohle, Erdöl und Erdgas verzichten wird. Dabei werden

² Reinert, C., Deutz, S., Minten, H., Dörpinghaus, L., von Pfingsten, S., Baumgärtner, N., Bardow, A. (2021): Environmental impacts of the future German energy system from integrated energy systems optimization and dynamic life cycle assessment. In Computers & Chemical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107406>

³ (https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2020/Diskussionspapier_Unvermeidbare_CO2_Entstehung/in4climatenrw-diskussionspapier-unvermeidbare-co2-entstehung-web.pdf).

verschiedene Optionen einer Deckung des künftigen Kohlenstoffbedarfs betrachtet, die auch die mögliche räumliche Trennung zwischen dem Ort des Anfalls und dem Ort der (chemischen) Nutzung von Kohlendioxid einbeziehen.

3 Ergebnisse aus der Forschung zu Produkten und Wertschöpfungsketten

3.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls

Das zentrale Ergebnis der integrierten Energie- und Stoffstrommodelle stellt ein detailliertes Mapping der Energie- und Stoffverbräuche der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie in NRW dar. Ergänzende Analysen erweitern dieses Bild um zusätzliche Stufen der Wertschöpfungskette, insbesondere der Polymerproduktion und dem Verbrauch von Polymeren in der Verpackungsindustrie. Eine Netzwerkanalyse deckt Engpässe und Hebel innerhalb dieses Kunststoffsektors auf. Darüber hinaus wurde die Bauindustrie ausgewählt, um exemplarisch die Modellierung der Kreislaufwirtschaft für sämtliche Materialien aus der Grundstoffindustrie zu vollziehen. Die ersten Schritte zur Erstellung einer Datenbank des Gebäudebestands in NRW wurden gemacht. Die Datenbank bildet die Grundlage für zukünftige Untersuchungen der Auswirkungen der Verwertung von ‚Post-Consumer-Abfällen‘ aus dem Bausektor (Urban Mining).

3.2 Integrierte Energie- und Stoffstrommodelle

Der Strukturwandel in NRW wird die aktuellen Wertschöpfungsketten durch die Energiewende und die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft erheblich beeinflussen. Das Auslaufen einiger industrieller Prozesse und die Einführung anderer impliziert, dass sich Angebot und Nachfrage von Rohstoffen (primär und sekundär) und Energieressourcen deutlich verändern werden. Strukturierte Analysen der dynamischen Auswirkungen, inklusive der Auswirkungen auf andere Sektoren, sind jedoch selten. Daher wurden integrierte intersektorale Analysen durchgeführt. In denen materialspezifische Stoffströme und Energieströme analysiert wurden.

Die Materialflussanalysemodelle (MFA) wurde für die Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke, sowie die Stahl- und die Zementindustrie eingeführt, um die derzeitigen Wertschöpfungsketten und Interdependenzen zu untersuchen und die voraussichtlichen Veränderungen und Auswirkungen zu ermitteln.

Darüber hinaus erfolgte in Forschungsintervall 1 die Modellierung der chemischen Industrie in Nordrhein-Westfalen die abschließend um die Stahl- und Zementindustrie erweitert wurde. Basierend auf dem gekoppelten Modell der drei Industrien erfolgte die Analyse des Potentials für die Treibhausgasreduktion durch Elektrifizierungstechnologien.

3.2.1 Materialflussanalyse

Das in Abbildung 2 dargestellte MFA-Modell (MaterialFlussAnalyse) der Stahlindustrie in NRW stellt die durchgeführten Analysen beispielhaft dar. Die Wertschöpfungskette von Primärstahl beginnt mit Eisenerz, das importiert wird (21,8 Mio. t). Nach dem Sintern wird der Rohstoff mit Kohle (2,1 Mt), Koks (5 Mt) und Energieträgern (z.B. Erdgas) in den Hochofen eingebracht, um in zwei integrierten Werken (Thyssenkrupp und Hüttenwerke Krupp Mannesmann HKM) in Duisburg Roheisen zu erzeugen. Die Produktion wird dann in Sauerstoffblasöfen (BOF) weiterverarbeitet, um Rohstahl zu erzeugen. Beide Unternehmen produzieren jährlich 13,5 Mio. t (d. h. 85 % der Produktion in NRW und ein Drittel der Stahlproduktion in Deutschland). Darüber hinaus betreibt ArcelorMittal auch eine Hochofenanlage in Duisburg, in der jährlich etwa 1 Mio. t Stahl produziert wird. Der Rest der Stahlproduktion (1 Mio. t) wird in drei Werken mit Hilfe von Elektrolichtbogenöfen (Sekundärstahl) erzeugt.

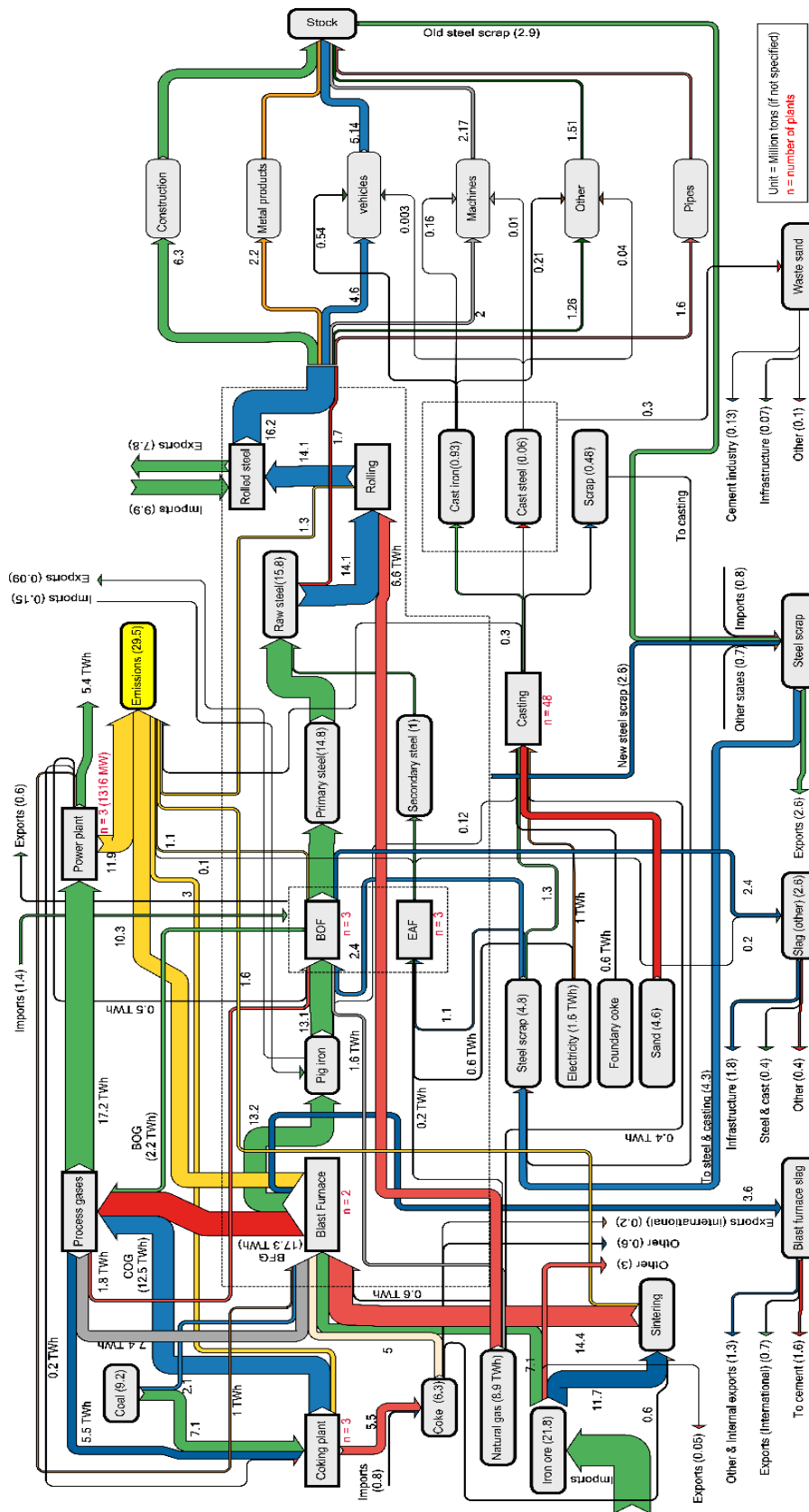


Abbildung 2: Material und Energieflüsse in der Stahlherstellung NRW (Beispiel)

Die Einführung wasserstoffbasierten Stahls wird die derzeitigen Material- und Energieströme vollständig verändern, was sich auch auf andere Branchen auswirken kann. Eine Verringerung der im Hochofen erzeugten Stahlmengen bedeutet eine geringere Menge an Hüttensand, der aufgrund seiner zementartigen Eigenschaften zur Herstellung von CEM II und III verwendet wird. Das Auslaufen der Hochöfen und Kokereien bedeutet auch geringere Mengen an Hochofengas (BFG) und Koksofengas (COG), die zur Stromerzeugung in den Kraftwerken von ThyssenKrupp und HKM verwendet werden (3 Anlagen mit einer installierten Leistung von 1316 MW \approx 3 % der installierten Leistung). Darüber hinaus bedeutet die Verwendung von (grünem) Wasserstoff als Reduktionsmittel, dass erhebliche Mengen an (erneuerbarem) Strom benötigt werden. Daher sollten auch das Stromnetz und die Infrastruktur auf diesen großen Strukturwandel vorbereitet werden.

Weitere MFA-Modelle erfassen auch zusätzliche Veränderungen, die durch andere strukturelle Umbrüche im Bundesland verursacht werden. So bedeutet der Kohleausstieg, dass die derzeitigen Vorräte an Flugasche und FDG-Gips (Rauchgasentschwefelung) bis 2038 nicht mehr verfügbar sein werden. Beide Sekundärrohstoffe sind sehr wichtige Inputs für die Bauindustrie und ihr Wegfall bringt verschiedene technische und wirtschaftliche Herausforderungen mit sich. Auch der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft wird Auswirkungen auf die derzeitigen Energieressourcen haben. Das Verbot von Einwegplastik und die verstärkte Wiederverwertung von Kunststoffen bedeuten beispielsweise, dass Abfallbrennstoffe und Kunststoffe nicht mehr für die energetische Verwertung zur Verfügung stehen werden. Infolgedessen wird Großverbrauchern wie der Zementindustrie ein günstiger Brennstoff mit einem (relativ) geringen Kohlenstoff-Fußabdruck vorenthalten.

3.2.2 Treibhausgasreduktion

Basierend auf dem gekoppelten Top-Down-Model der drei Industrien erfolgte die Analyse des Potentials für die Treibhausgasreduktion durch Elektrifizierungstechnologien. Bei einem Emissionsfaktor von 25 g_{CO₂-äq}/kWh können durch Elektrifizierung die Treibhausgasemissionen der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie in NRW insgesamt um bis zu 66 % reduziert werden, für einen Emissionsfaktor von 100 g_{CO₂-äq}/kWh hingegen nur um bis zu 32 %.

Wechselt die Stahlproduktion von der integrierten Hochofenroute zum Direktreduktionsverfahren, entfällt die Produktion von Hüttensand, wie es auch in MFA Analyse festgestellt wurde. Ohne entsprechendem Ersatzmaterial könnten die Treibhausgasemissionen der Zementindustrie, wegen erhöhtem Zementeinsatz, in NRW um 37 % ansteigen. Da NRW aktuell Hüttensand exportiert (45 % der Hüttensandproduktion) würden die Treibhausgasemission der Zementindustrie auch außerhalb von NRW ansteigen. Trotz der induzierten Mehremissionen in der Zementindustrie führt das Direktreduktionsverfahren in der Stahlindustrie insgesamt zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen. Voraussetzung für diese Treibhausgasreduktion bildet eine ausreichende Verfügbarkeit von Wasserstoff beziehungsweise emissionsarmer Elektrizität zur Produktion von Wasserstoff.

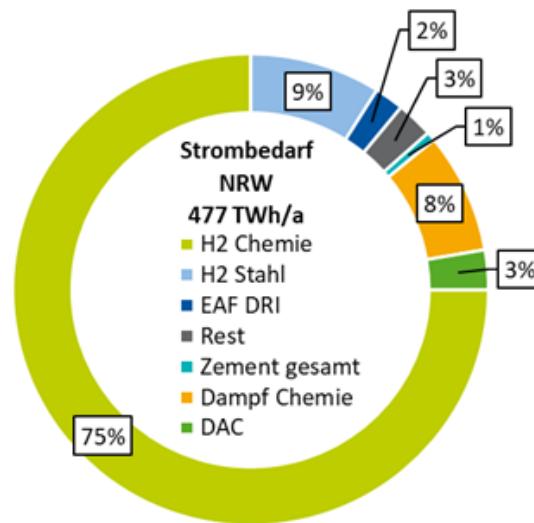


Abbildung 3: Aufteilung des jährlichen Strombedarfs für NRWs Stahl-, Zement- und Chemieindustrie⁴

Ein noch höherer Strombedarf resultiert aus dem Wasserstoffbedarf für die CCU-basierte Produktion von Chemikalien und Kunststoffen (siehe Abbildung 3). Insgesamt beträgt der kumulierte Strombedarf für eine Elektrifizierung der drei Industrien allein in NRW 477 TWh/a. Dieser Strombedarf ist mehr als doppelt so groß wie der Strombedarf der gesamten deutschen Industrie in 2018 (226 TWh/a)⁵. Somit sollte vor allem der Ausbau erneuerbarer Energien fokussiert und die zukünftige Auslastung des Stromnetzes kritisch geprüft werden. Alternativ kann der Strombedarf durch Wasserstoffimporte reduziert werden.

3.3 Akteursnetzwerk der Wertschöpfungskette von Kunststoffverpackungen

Die in NRW hergestellten Grundstoffe werden in unterschiedlichen Produkten verwendet. Aus der Sicht der Kreislaufwirtschaft sind Verpackungen, mit Hinblick auf ihre kurze Lebensdauer und ihr großes Abfallpotential, besonders wichtige Güter.

Um Wertschöpfungs- und Emissionsminderungspotenziale effizient im Rahmen der Transformation zur Kreislaufwirtschaft zu realisieren, sind systematische Analysen des industriellen Netzwerks der Kunststoffverpackungsindustrie in NRW auf Akteurs- und Materialebene notwendig. Ziel der durchgeführten Analyse war es einen Überblick über Produkte, Akteure und Anlagen entlang des Lebenszyklus von Kunststoffverpackungen zu gewinnen und deren Netzwerk zu charakterisieren. Die Soziale Netzwerkanalyse (SNA) bietet eine Bandbreite an Kennzahlen für eine qualitative Beschreibung von Netzwerken. Das Netzwerk besteht aus Knoten und Kanten, welche die Knoten miteinander verbinden. Firmen und Produkte werden durch Knoten, Materialströme, hergestellte Produkte und verbrauchte Ausgangsstoffe durch Kanten repräsentiert (siehe Abbildung 4).

⁴ bei Einsatz von Elektrifizierungstechnologien mit hohem Technologiereifegrad bei Treibhausgasemissionen des Stromsektors (Emissionsfaktor) von 25 g/kWh. Bei einer jährlichen Verfügbarkeit von 477 TWh/a und einem Emissionsfaktor von 25 g/kWh können die Treibhausgasemissionen der drei Industrie, in NRW, um bis zu 66 % reduziert werden.

⁵ Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021: Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.

Zum Aufbau eines solchen Systems wurde zunächst eine extensive Datenerhebung zu den relevanten Akteuren und Produkten im entsprechenden Netzwerk durchgeführt. Hierbei wurden Daten zu den Anlagekapazitäten, Produktionsvolumina, etc. zusammengestellt. Das Netzwerk wurde anhand von zwei unterschiedlichen Netzwerktopologien, SMART (Strategic Materials Analysis & Reporting Topography) und linear, modelliert. Diese stellen zwei unterschiedliche Verknüpfungsstrukturen der Knoten dar. Anhand SMART wird das Verhältnis von Firmen bzw. Produkten und von Materialflüssen getrennt sichtbar gemacht. Durch den linearen Ansatz werden die tatsächlichen Stoffströme zwischen den Firmen modelliert und so der natürliche Materialaustausch der beteiligten Firmen widergespiegelt. Die zwei vorgestellten Netzwerktopologien beleuchten dabei unterschiedliche Eigenschaften der Wertschöpfungsketten.

Die im Anschluss ermittelten SNA Kennzahlen geben Aufschluss über wichtige Knoten (Akteure oder Materialien) im Netzwerk. Beispielsweise zeigt die Analyse, dass der Gelbe Sack einen entscheidenden Engpass für das Recycling darstellt, dadurch ein erhebliches Versorgungsrisiko birgt und gleichzeitig die Möglichkeit bietet, den Prozess effizienter zu gestalten (siehe zum Beispiel Abbildung 4 – „collection“). Es ist auch ersichtlich, dass PE-Folie als Verpackungsmaterial eine herausragende Rolle in der Wertschöpfungskette von Kunststoffverpackungen in NRW spielt („Film“ – Abbildung 4). SNA-Kennzahlen zeigen auch, dass der EoL-Bereich (End-of-Life – Abfallbehandlung) dicht vernetzt ist in NRW, so dass dort ein robusteres System als für die Akteure in der Produktionsphase aufgebaut werden kann.

Als konkrete Handlungsempfehlungen lassen sich basierend auf der vorliegenden Netzwerkanalyse daher die folgenden Einschätzungen ableiten:

- Insbesondere sollte der Aufbau weiterer Recyclinganlagen vorangetrieben werden.
- Ebenso müssen die Kapazitäten der Sortieranlagen nach dem neusten Stand der Technik ausgeweitet werden.
- Recyclingkapazitäten bestimmter Polymere, wie bspw. PS bestehen in NRW zum Zeitpunkt der Analyse nicht. Um das Wertschöpfungspotenzial durch diese Recyclingaktivitäten nicht zu vergeben, sollten Kapazitäten geeigneter Recyclinganlagen sowie der notwendigen vor- und nachgelagerten Prozessschritte und Infrastrukturen aufgebaut werden.
- Aufgrund der zentralen Stellung des Gelben Sacks sollte in Betracht gezogen werden, ein weiteres Systemelement, das die beiden wichtigsten vor- und nachgelagerten Knoten-Gruppen, nämlich die Produktion und Abfallverwertung, in der Wertschöpfungskette verbindet.

Aus methodischer Sicht zeigen die Analysen, dass graphen-basierte Kennzahlen einen wichtigen Beitrag dabei leisten können, größere Wertschöpfungsketten zu analysieren und strategische Entscheidungen, welche sich auf die Netzwerkstruktur (Akteure und Produkte bzw. Materialflüsse) auswirken zu fundieren. Die Methodik stellt aufgrund Ihrer hohen Auflösung ein hervorragendes Instrument für die Unterstützung regionaler Entscheidungen dar.

Damit ist dieses Modell sehr gut skalierbar und kann sowohl den gespeicherten Materialstock im Gebäudebestand einer Stadt, eines Bundeslandes oder ganz Deutschland abbilden, indem in der Eingabemaske des Bestandes die jeweilige Anzahl an Gebäuden je Baualtersklasse und unterschiedenen nach den Subkategorien eingetragen werden. In dieser Grundstruktur ist das Modell jedoch ein rein statisches Modell, dass den gespeicherten Materialstock zu einem festgelegten Zeitpunkt anzeigt. Über jährliche Zubau- und Abrissraten kann dieses Modell jedoch einfach eine dynamische Perspektive erhalten. Allerdings sind hierzu für den zukünftigen Zubau entweder neue Gebäudetypen zu definieren (die z.B. ein verstärktes Bauen mit R-Beton oder in Holz-Hybrid-Bauweise abbilden könnten) oder man muss die neueste Baualtersklassifikation für den zukünftigen Neubau verwenden.

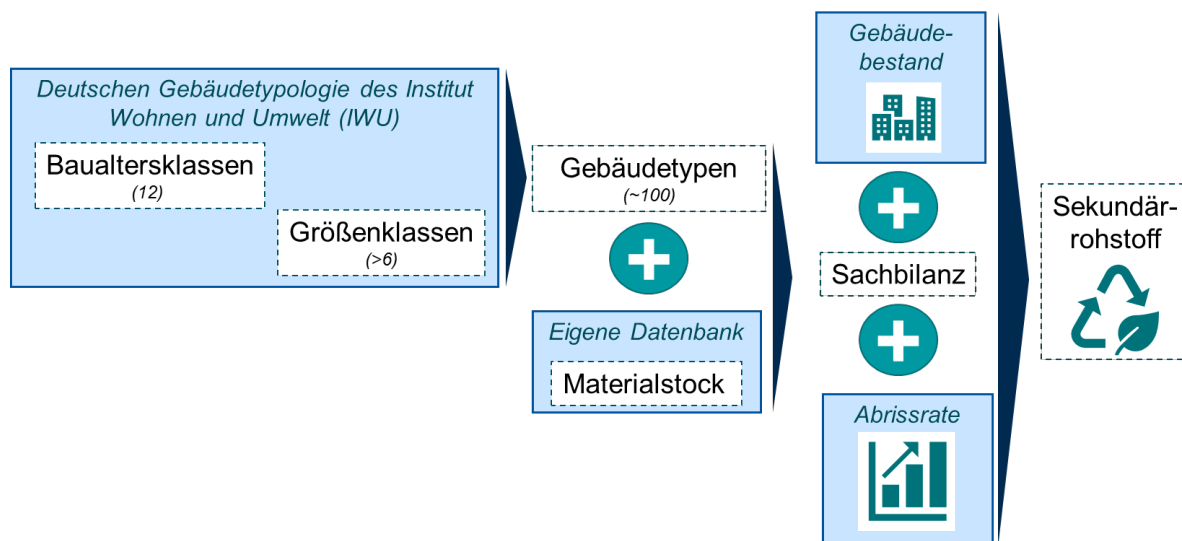


Abbildung 5: Flow-Chart der Abschätzung

Dieses Modell wurde im Rahmen von SCI4climate.NRW mit dem Gebäudebestand des Landes NRW verknüpft und die Abrissrate an die statistisch nachgewiesenen Abrissrate in NRW der Jahre 2015 bis 2018 angepasst (siehe Abbildung 5). Für den zukünftigen Neubau wurde die aktuellste Klassifikation des Modells fortgeschrieben. Diese soll im nächsten Jahr allerdings mit neueren Daten angepasst werden. Aus der derzeitigen Anpassung des Modells ergeben sich bis zum Jahr 2060 folgende vorläufige Ergebnisse:

Bei einem unterstellten 1% Wachstum der Baufertigstellung steigt der jährliche Zubau von derzeit rund 17.000 Gebäuden auf knapp 25.000 Gebäuden im Jahr 2060. Gleichzeitig gehen wir von einer nur geringen Abrissrate von 0,14% auf den Bestand der Baualtersklassen 1949 bis 1978 aus. Damit würden derzeit knapp 2300 Gebäude pro Jahr abgerissen. Dies entspricht den aktuellen Daten von IT_NRW. Da wir diese Abrissrate nur auf drei Altersklassen beziehen, reduziert sich zwangsläufig im Zeitablauf die jährliche Zahl an abgerissenen Gebäuden und zwar auf knapp 2200 Gebäude im Jahr 2060.

Daraus ergeben sich nach unserem Modell Abbruchabfälle in NRW von rund 1,86 Mio. t im Jahr 2021, die aufgrund sinkender Abrisszahlen auf 1,77 Mio. t zurückgehen. Diese Mengen entsprechen ungefähr 1/5 der Mengen, der Landesbetrieb Information und Technik NRW als Bau- und Abbruchabfälle dokumentiert. Aber darin sind auch Abfälle enthalten aus dem Abbruch von Nichtwohngebäuden, Abfälle aus der Sanierung von Gebäuden und Infrastrukturen und schließlich auch Abfälle aus der Bautätigkeit selbst. Diese Abfälle diene als Quellen von sekundären Rohstoffen der Zukunft zur Wiederverwendung in Bau oder anderen Industriesektoren.

4 Ergebnisse aus der Forschung zu Szenarien und Transformationspfaden

4.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls

Im Themenfeld 3 „Szenarien und Transformationspfade“ wurden im 2. Forschungsintervall die im vorherigen Forschungsintervall erarbeiteten ersten Überlegungen zu branchenspezifischen Entwicklungspfaden 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. Diese Szenarien dienen – genauso wie die fortlaufende Analyse veröffentlichter nationaler sowie internationaler Klimaschutzszenarien – der Beantwortung der zentralen Forschungsfrage in Themenfeld 3: „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 realisierbar?“

Zudem erfolgte im 2. Forschungsintervall 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. Dieses potenzielle Phänomen nennen wir „Renewables Pull“. Die Forschungsfragen rund um dieses Thema werden auch im 3. Forschungsintervall eine wichtige Rolle in den Arbeiten im Themenfeld „Szenarien und Transformationspfade“ spielen.

4.2 Metaanalyse vorliegender Klimaschutzszenarien für die Industrie

In einer im 1. Forschungsintervall durchgeführten Analyse wurden bereits mehrere Klimaschutzszenarien hinsichtlich ihrer jeweils angenommenen Klimaschutzstrategien ausgewertet.⁶ Eine Erkenntnis dieser Analyse war, dass vorliegende Szenarien abweichende Kombinationen von Strategien verfolgen, was darauf hindeutet, dass unterschiedliche Wege zu einer weitgehenden Emissionsminderung im Industriesektor führen können und dass es bisher keinen breiten Konsens über die wahrscheinlichste oder zu bevorzugende Kombination von Strategien gibt.

Diese vorangegangene Metaanalyse fokussierte auf die in den Szenarien beschriebenen Entwicklungen des gesamten Industriesektors. Sie konnte daher keine speziellen Aussagen für einzelne Industriebranchen treffen. Aufgrund der großen Heterogenität verschiedener Industriebranchen lag es nahe, diese erste Metaanalyse um eine Metaanalyse von Szenarien und Roadmaps für einzelnen Branchen der Industrie zu ergänzen. Solche branchenspezifischen Metaanalysen ermöglichen beispielsweise Aussagen darüber, inwiefern sich vielversprechende Klimaschutzstrategien von Branche zu Branche unterscheiden und wie genau einzelne Strategien in bestimmten Branchen umgesetzt werden könnten.

Im Rahmen der im 2. Forschungsintervall erstellten Metaanalyse wurden Klimaschutzszenarien und Roadmaps jeweils für die Branchen Stahl, Chemie und Zement ausgewertet und miteinander verglichen. Diese drei Branchen wurden für die Analyse ausgewählt, da sie zum einen diejenigen Industriebranchen mit den höchsten Treibhausgasemissionen sind und für sie zum anderen die meisten aktuellen Szenarien vorliegen. Berücksichtigt werden dabei sowohl solche Studien, die einzelne dieser

⁶ Samadi, S. und Barthel, C. 2020a: Meta-analysis of industry sector transformation strategies in German, European and global deep decarbonization scenarios, in: Tagungsband der eceee Industrial Summer Study 2020, S. 445-455.

Samadi, S. und Barthel, C. 2020b: Vergleich der Strategien für weitgehenden Klimaschutz in der Industrie in deutschen, europäischen und globalen Szenarien, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 70, H. 10, S. 32-36.

Branchen separat betrachten als auch Studien, die den gesamten Industriesektor in den Blick nehmen – sofern sie in ausreichender Tiefe gesonderte Aussagen über die drei genannten Branchen bieten.

Im Folgenden werden beispielhaft die Schlussfolgerungen aus der Metaanalyse der Szenarien für die Stahlindustrie dargestellt. Die Schlussfolgerungen für die Zement- und Chemieindustrie können – wie auch die gesamte Metaanalyse mit allen Detail-Auswertungen – in der veröffentlichten Studie von SCI4climate.NRW⁷ nachgelesen werden.

Die Metaanalyse der Szenarien zur Entwicklung der Stahlbranche verdeutlicht, dass dem Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energiequellen – entweder direkt genutzt oder indirekt in der Form von grünem Wasserstoff – für eine (nahezu) klimaneutrale Stahlerzeugung eine Schlüsselrolle zukommt. Unter anderem unterstellen alle sieben für die Stahlbranche untersuchten Szenarien einen signifikanten Anstieg der Sekundärstahlproduktion mit Hilfe des stromintensiven Elektrolichtbogenofens (EAF). In der Primärstahlproduktion setzen alle betrachteten Szenarien zudem verstärkt auf die wasserstoffbasierte DRI-EAF/SAF-Route, insbesondere aber die Szenarien *KN2050*, *GreenSupreme* und *New Processes*.

Tabelle 1: Übersicht über die Relevanz einzelner Klimaschutzstrategien nach Szenarien (Stahl)

Szenario	Einsatz klimaneutraler Energieträger			CO ₂ -Abscheidung		Minderung der Nachfrage nach Primärmaterialien			
	direkte Elektrifizierung	Wasserstoff oder synthetische Brennstoffe	Biomasse	CCS	CCU	Materialeffizienz	Kreislaufwirtschaft	Materialsubstitution	Minderung der Endnachfrage
DEUTSCHLAND									
KN2050 (Agora Energiewende u. a. 2020)	+	++	+++	++	o	o	++	+	o
GreenSupreme (UBA 2019)	++	+++	o	o	o	++	+++	+	++
EUROPA									
New Processes (Material Economics 2019)	++	++	++	+	k. A.	+	+++	o	o
Circular Economy (Material Economics 2019)	++	++	++	+	k. A.	++	+++	o	o
Carbon Capture (Material Economics 2019)	+	+	++	+++	k. A.	+	++	o	o
Mix95 (ICF/Fraunhofer ISI 2019a)	++	++	+	o	o	+	+++	o	o
WELT									
SDS (IEA 2020)	+	+	+	+++	k. A.	+	++	o	o

o = Strategie wird nicht oder nur marginal verfolgt

+ / ++ / +++ = Strategie wird in mäßigem/starkem/sehr starkem Maße verfolgt

⁷ SCI4climate.NRW 2021: Metaanalyse von Klimaschutzszenarien für die Branchen Stahl, Zement und Chemie, Wuppertal.

Ebenfalls wird in allen betrachteten Szenarien eine Erhöhung der Recyclingrate von Stahl angestrebt und für möglich gehalten, wobei sich die Einschätzungen zu der bis Mitte des Jahrhunderts realisierbaren Recyclingrate unterscheiden.

Die Rolle der CO₂-Abscheidung (CCUS) für Emissionsminderungen in der Stahlindustrie wird in den betrachteten Szenarien sehr unterschiedlich eingeschätzt. Die Szenarien *GreenSupreme* sowie *Mix95* verzichten komplett auf CCS und CCU. In den Szenarien *Circular Economy* und *New Processes* wird zwar CO₂-Abscheidung eingesetzt, diese Minderungsstrategie spielt in beiden Szenarien aber eine eher kleine Rolle bei der CO₂-Reduktion. Eine wichtige Rolle spielt CCUS in der Stahlbranche hingegen in *KN2050* sowie v. a. in *SDS* und *Carbon Capture*, in denen rund ein Drittel des Rückgangs der Emissionen der Branche bis 2050 (gegenüber dem jeweiligen Basisjahr) auf die Abscheidung und Speicherung von CO₂ zurückgeht. Keine der Studien, die den Einsatz von CCUS in der Stahlindustrie beschreiben, machen dabei konkrete Angaben zu Infrastrukturen oder der Verortung der geologischen Speicherstätten.

Zudem gibt es zwischen den Szenarien unterschiedliche Einschätzungen, ob bzw. in welchem Umfang Biomasse in der Stahlerzeugung eingesetzt werden sollte und ob auch die Substitution von Stahl durch andere Materialien oder aber eine Anpassung von Verhaltensweisen und Konsummustern zu einer zukünftigen Minderung des Stahlbedarfs beitragen werden.

4.3 Beschäftigung mit dem Thema „Renewables Pull“

Infolge zunehmender Klimaschutzbemühungen wird die energieintensive Industrieproduktion weltweit voraussichtlich immer stärker auf solche Energieträger und Rohmaterialien („Feedstocks“) umgestellt werden, die auf erneuerbaren Energien basieren bzw. mit ihnen hergestellt wurden. Da ein großer Teil der Grundstoffproduktion auf Weltmärkten gehandelt wird, ist zu erwarten, dass für künftig klimaneutral hergestellte Grundstoffe die Verfügbarkeit und die Kosten „grüner“ Energie zu einem relevanten Wettbewerbsfaktor und damit auch zu einem wichtigen Standortfaktor werden.

Unter „Renewables Pull“ verstehen wir in diesem Kontext das zunächst hypothetische (zukünftig möglicherweise aber auch empirisch nachweisbare) Phänomen einer Verlagerung industrieller Produktion von einer Region in eine andere Region als Folge unterschiedlicher Grenzkosten von erneuerbaren Energien oder auf erneuerbaren Energien basierenden Sekundärenergieträgern bzw. Feedstocks.

In den im 2. Forschungsintervall begonnenen Arbeiten an dem Thema Renewables Pull wurde zunächst eine Definition und Konzeptualisierung des Phänomens vorgenommen. Dabei wurde hervorgehoben, dass grundsätzlich drei unterschiedliche Effekte zu einer Verlagerung industrieller Produktion im Sinne von Renewables Pull führen können:

- Eine **Verteuerung fossiler Energieträger** z. B. durch verschärfte Klimaschutzpolitik und damit einhergehende Instrumente (z. B. CO₂-Preis) verteuern die fossil-basierte industrielle Produktion und könnten dadurch dazu führen, dass die industrielle Produktion auf Basis erneuerbarer Energien an guten Erneuerbaren-Standorten wettbewerbsfähig wird.
- Eine **Kostensenkung erneuerbarer Energien** – beispielsweise durch technische Fortschritte oder auch öffentliche Förderung – könnte dazu führen, dass deren Nutzung in bestimmten industriellen Anwendungen gegenüber der Nutzung fossiler Energien wirtschaftlich wird.
- Es kann sich auf dem Markt eine **explizite Nachfrage nach „grünen“ Grundstoffen** herausbilden, beispielsweise weil im Wettbewerb stehende Unternehmen ihren Kundinnen und

Kunden als Alleinstellungsmerkmal „grüne“ Produkte mit einem möglichst niedrigen CO₂-Fußabdruck anbieten möchten.

Anhand eines einfachen Zwei-Länder-Modells wird in den beiden Veröffentlichungen zum Thema⁸ näher erläutert, wie genau diese drei Effekte Renewables Pull jeweils auslösen können. An dieser Stelle soll beispielhaft anhand von Abbildung 6 verdeutlicht werden, wie es im Zusammenhang mit einer verschärften Klimaschutzpolitik zu Änderungen der Produktionskosten kommen kann und wieso in der Folge die Verlagerung industrieller Produktion von Land A zu Land B in Form von Renewables Pull möglich ist. Die Abbildung zeigt dabei den Fall einer gleichen bzw. ähnlichen Verschärfung der Klimapolitik in den Ländern A und B, die zu einem Anstieg der CO₂-Kosten und damit zu einer Verteuerung der Nutzung fossiler Energien führt (siehe schraffierte Flächen in Abbildung 6).

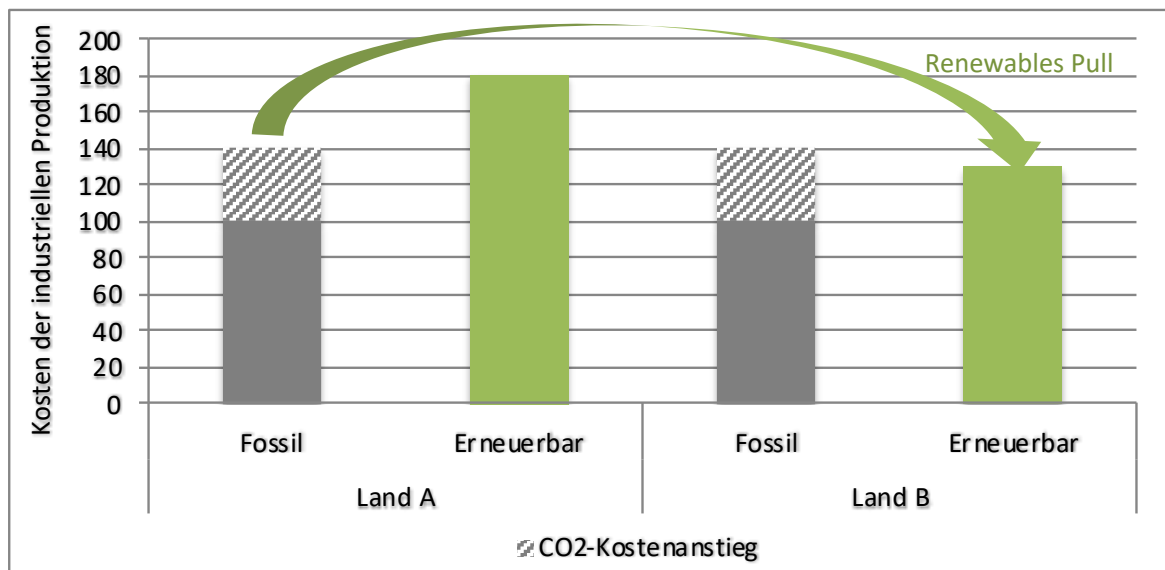


Abbildung 6: Schematische Darstellung von Renewables Pull durch Produktionskostenänderungen infolge einer einheitlichen Verschärfung der Klimaschutzpolitik in den Ländern A und B

Durch die Verteuerung der Nutzung fossiler Energieträger steigt in beiden Ländern die Wirtschaftlichkeit grüner Energieträger, infolgedessen auch die Bedeutung regionaler Differenzen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Grenzkosten erneuerbarer Energien für den Standortfaktor „Energiekosten“ zunimmt. Diese Differenzen können sich – neben regulatorischen Unterschieden wie abweichenden Steuersätzen – zum einen aus naturräumlichen und klimatischen Unterschieden ergeben. Zum anderen können sie (zusätzlich) auf Unterschiede in den Bezugskosten erneuerbarer Energien aus Regionen mit günstigen Erzeugungskosten zurückzuführen sein.

Aufgrund günstiger naturräumlicher und klimatischer Bedingungen in Land B können dort die steigenden Kosten fossiler Energieträger durch relativ günstige Grenzkosten erneuerbarer Energien teilweise kompensiert werden. Dies ist in Land A hingegen nicht möglich. Hier bleibt die Produktion auf Basis erneuerbarer Energien auch nach Einführung der CO₂-Kosten teurer als die Produktion auf Basis fossiler Energien. Die Energiekosten für die Produktion steigen daher in Land A stärker an als in Land B.

⁸ Samadi, S.; Lechtenböhmer, S.; Viebahn, P. und Fischer, A. 2021: Renewables Pull – Verlagerung industrieller Produktion aufgrund unterschiedlicher Kosten erneuerbarer Energien, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 71, H. 7-8, S. 10-13.

SCI4climate.NRW 2021: Konzeptualisierung des möglichen Renewables-Pull-Phänomens – Definition, Wirkmechanismen und Abgrenzung zu Carbon Leakage, Wuppertal.

Der niedrigere Anstieg der Energiekosten in Land B stärkt (*ceteris paribus*) dessen Wettbewerbsposition gegenüber Land A. Eine Verlagerung industrieller Produktion von Land A zu Land B kann folglich v. a. für energieintensive Unternehmen – unter Abwägung anderer Standortfaktoren – attraktiv werden, sowohl für die Deckung der Nachfrage in Land B als auch für den Export nach Land A.

Die angenommenen Unterschiede zwischen zwei Standorten können sich auch innerhalb einzelner Länder ergeben. Beispielsweise könnten Standorte im deutschen Binnenland sowohl bezüglich der Grenzkosten der Windenergienutzung als auch bezüglich des Zugangs zu Seehäfen gegenüber norddeutschen Küstenstandorten benachteiligt sein.

In dem veröffentlichten Projektbericht zum Thema Renewables Pull von SCI4climate.NRW⁹ wird anhand des Zwei-Länder-Modells zudem aufgezeigt, dass auch Verschärfungen der Klimaschutzpolitik in nur einem der beiden Länder zu Renewables Pull führen können. Außerdem werden die weiteren möglichen Auslöser von Renewables Pull (Kostensenkungen erneuerbarer Energien und explizite Nachfrage nach „grünen“ Grundstoffen) näher erläutert, eine Abgrenzung zum Carbon-Leakage-Effekt¹⁰ vorgenommen und verschiedene offene Forschungsfragen zum Thema definiert.

⁹ SCI4climate.NRW 2021: Konzeptualisierung des möglichen Renewables-Pull-Phänomens – Definition, Wirkmechanismen und Abgrenzung zu Carbon Leakage, Wuppertal.

¹⁰ Carbon Leakage bezeichnet eine Verlagerung industrieller Produktion von einem Land mit relativ strikter Klimaschutzpolitik und einhergehenden hohen CO₂-Kosten in ein anderes Land mit niedrigeren CO₂-Kosten.

5 Ergebnisse aus der Forschung zu Rahmenbedingungen

5.1 Forschungsfragen des 2. Forschungsintervalls

Ein wichtiges Ziel im 2. Forschungsintervall war 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.

Um der Frage nach der Innovationstätigkeit der nordrhein-westfälischen Grundstoffindustrie nachzugehen, wurde eine Patentanalyse im Hinblick auf klimafreundliche Patentanmeldungen durchgeführt und zusätzlich die Forschungs- und Entwicklungslandschaft untersucht.

5.2 Thema Wasserstoff: Den Einstieg schaffen

Das Papier *Wasserstoffwirtschaft: den Einstieg schaffen*¹¹ adressiert bestehende Herausforderungen und stellt darauf aufbauend eine Reihe von instrumentellen Ansätzen in Form von Steckbriefen vor und quantifiziert – wo möglich – das Potenzial der einzelnen Instrumente in Abhängigkeit von ihrer Ausgestaltung. Dazu wurden Politikoptionen untersucht, mit denen sich das Ziel eines Hochlaufs der Bereitstellung von grünem Wasserstoff am besten erreichen lässt.

Für den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft sind vor allem 4 zentrale Herausforderungen zu adressieren:

1. Der Aufbau von Kapazitäten für eine ausreichende Wasserstoffversorgung.
2. Eine notwendige Kostendegression zur wirtschaftlichen Anwendung von grünem Wasserstoff, sowohl bei den Kapitalkosten für die Elektrolyse als auch bei den Betriebskosten.
3. Der Aufbau von entsprechender Transportinfrastruktur im Inland sowie die Möglichkeit zum umfangreichen Import aus globalen Erzeugungsstandorten (mit hohen Solar- und Windressourcen).
4. Für den Einsatz von grünem Wasserstoff sind außerdem entsprechende Technologieinvestitionen in der Grundstoffindustrie notwendig. Entsprechende Anreize zur Investition sowie eine Technologieförderung sind zu verstärken. Hierzu gehören auch Rahmenbedingungen für die Nachfrage nach (mittels grünem Wasserstoffes hergestellten) klimaneutralen Grundstoffen.

Einige Instrumente sind bereits in der Planungs- und Umsetzungsphase. Darüber hinaus benötigt der Hochlauf einer stärkeren Wasserstoffwirtschaft jedoch absehbar weitere politische Regelungen und Unterstützung. Derzeit diskutierte Maßnahmen sind knapp im bekannten Schema in Abbildung 7 dargestellt.

¹¹ <https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/wasserstoffwirtschaft-den-einstieg-schaffen-cr-sci4climatenrw.pdf>

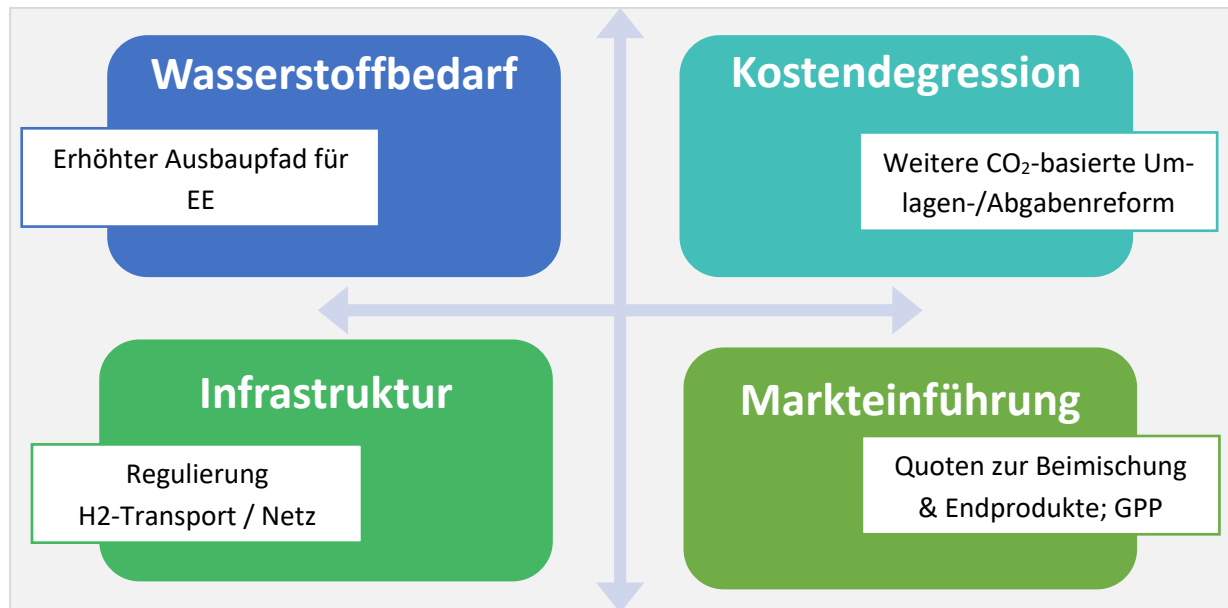


Abbildung 7: Weitere mögliche Ansätze für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft

Tabelle 2: Politikoptionen für weiteren Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft

Maßnahme	Ebene	Hemmnis	Stufe
Regulierung der H₂-Transporte / Netze Es fehlt noch an einem finalen Beschluss zur Regulierung des Transport von H ₂ und wie Entgelte erhoben werden dürfen. Derzeit verfolgt das BMWi eine eigene Regulierung von H ₂ -Netzen. Auf EU-Ebene wird das Thema voraussichtlich Ende 2021 angegangen.		Infrastruktur	Transport
Weitere Quoten für Beimischung und Endprodukte Eine Erhöhung der Beimischung im Flugverkehr wäre denkbar, ebenso Anreize zur Verwendung von „grünem“ Stahl im Fahrzeugbau.		Markteinführung	Anwendung
Öffentliche Beschaffung Schaffung eines Absatzmarktes durch eine nachhaltige öffentliche Beschaffung- etwa für grünen Stahl oder Kunststoff.		Markteinführung	Anwendung
Weitere CO₂-basierte Umlagen-/ Abgabenreform Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von (grünem) Strom gegenüber fossilen Brennstoffen.		Kostendegression	Erzeugung
Mehr Kooperationen bei H₂ und EE-Ausbau Deutschland benötigt deutlich mehr Kapazität für Erneuerbare Energien, und sollte für H ₂ -Importe rasch Lieferketten etablieren.		Wasserstoffbedarf	Erzeugung

5.3 Thema Kreislaufwirtschaft: Factsheets

Für das Schwerpunktthema Kreislaufwirtschaft wurden mehrere Factsheets erarbeitet. Ein erstes grundlegendes Factsheet „Einführung in die Circular Economy“¹² analysiert den Status Quo der Kreislaufwirtschaft in Deutschland und Europa und leitet Herausforderungen und Potenziale für die Transformation der Wirtschaft zu einer Circular Economy auf wirtschaftlicher sowie politischer Ebene ab. Das zweite Factsheet „Abfallhierarchie – Die Stufen der Kreislaufwirtschaft“¹³ stellt eine Bestandsaufnahme von Zielen und Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung für die Transformation zu einer zirkulären Wirtschaft dar. Da sich die strategischen Programme und rechtlichen Rahmenbedingungen im Rahmen der Circular Economy zum einen auf unterschiedlichen Ebenen (EU, national, NRW) befinden und sich andererseits in einem dynamischen Prozess weiterentwickeln, ist eine interaktive Übersicht auf der Webseite erstellt worden, die die zentralen Aktionspläne, Gesetze, Richtlinien und Verordnungen in strukturierten Steckbriefen vorstellt und einordnet. Die Recherchen und Arbeiten hierzu fließen ebenso in das in der AG Circular Economy entstehende Diskussionspapier ein, um auch dort die Grundlage für die politische Situation und den Status Quo als Ausgangslage zu liefern.

Der Übergangsprozess zu einer funktionierenden Circular Economy ist komplex. In einer Umstellung von einer Linearwirtschaft hin zu einer zirkulären Wirtschaftsweise sind nicht nur verschiedenste Stakeholder entlang der gesamten Wertschöpfungskette aller Produkte und Materialien, sondern ebenso Interessensgruppen auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene einzubinden. Dies stellt eine wesentliche Governance-Herausforderung dar.

Zur Umsetzung und Etablierung einer Circular Economy müssen technologische, administrative und gesellschaftliche Herausforderungen angegangen und Potenziale genutzt werden. Bisher separat agierende Stakeholder müssen sich zusammenschließen und gemeinsame Lösungen finden. Dieser Prozess muss zwingend von der Politik strukturiert und koordiniert werden, da es sich einerseits um komplexe Konstellationen handelt, die eine zielgerichtete Begleitung auf dem Weg zu einer ganzheitlichen Lösung benötigen und es andererseits oftmals kleinteilige Handlungsansätze sind, die eine politische Initiierung und Administration erfordern.

Essenzielle Maßnahmen und Forderungen auf dem Weg dorthin sind folgende:

- Es müssen rechtliche Rahmenbedingungen und bindende Richtlinien für alle Marktteilnehmer geschaffen und etabliert werden.
- Der Markt für Sekundärrohstoffe muss gestärkt werden, sodass eine Wettbewerbsfähigkeit zu Primärrohstoffen entsteht und eine tatsächliche Substitution stattfinden kann.
- Es muss in Technologien und Innovationen investiert werden, um Recyclingquoten zu erhöhen, Aufbereitungstechnologien zu verbessern, Produktionsprozesse anzupassen und Produkte kreislauffähig zu gestalten.
- Neue Geschäftsmodelle müssen entstehen und gefördert werden, was neue Kooperationen, Logistiksysteme und Wertschöpfungsnetzwerke bedingt.
- Es muss sichergestellt werden, dass Maßnahmen für eine Circular Economy anderen gesamtgesellschaftlichen Zielen, wie der Klimaneutralität oder der Bekämpfung der Armut

¹² <https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/1-factsheet-einf%C3%BChrung-in-die-ce-cr-sci4climatenrw.pdf>

¹³ <https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/2-factsheet-abfallhierarchie-cr-schi4climatenrw.pdf>

und Ungleichheit nicht entgegenstehen.

Den größten Anteil an Deutschlands Gesamtabfallaufkommen machen Bauabfälle mit circa 55 Prozent aus. Die in Abbildung 8 dargestellten Siedlungsabfälle haben mit 12 Prozent im Jahr 2018 einen deutlich geringeren Anteil am Netto-Abfallaufkommen. Auffällig ist, dass die Abfallmenge der Siedlungsabfälle seit 2002 verhältnismäßig konstant geblieben ist und um einen Wert von circa 50 Millionen Tonnen schwankt (UBA, 2021¹⁴). Ähnlich wie in Deutschland sank auch das Abfallaufkommen in den EU-28 Ländern zwischen 2004 und 2012 um nur circa 1 Prozent (auf 2.514 Millionen Tonnen), was einer Pro-Kopf-Reduzierung von circa 3 Prozent auf fast 5 Tonnen pro Kopf entspricht (Eurostat, 2016¹⁵). Deutschlands Anteil am Gesamtabfallaufkommen der Europäischen Union beträgt circa 15 Prozent.

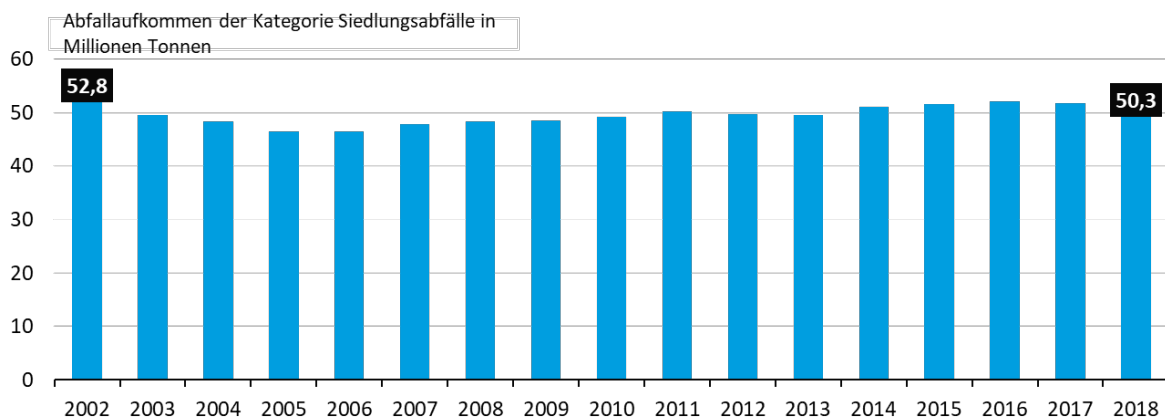


Abbildung 8: Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle (Statistisches Bundesamt, 2020¹⁶)

Die Entwicklung der Abfallmenge in Deutschland macht deutlich, dass das Ziel der Bundesregierung der Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch durchaus erreicht wurde, da die Wirtschaft im gleichen Zeitraum gewachsen ist, während das Abfallaufkommen stabil blieb. Der Fokus muss jedoch im Sinne einer Circular Economy auf der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs liegen, weshalb Maßnahmen getroffen werden müssen, das Abfallaufkommen deutlich und nachhaltig zu reduzieren.

5.4 Ergebnisse Patentanalyse und Forschungslandschaft

Einen weiteren Schwerpunkt bildete das Thema Forschung und Entwicklung. Ergänzend zur Untersuchung der Forschungslandschaft wurde eine Patentanalyse von in NRW aktiven Unternehmen der Grundstoffindustrie und Energie- und Gasbranche durchgeführt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Identifikation klimafreundlicher Patente oder solcher, die innovativen technologischen Ansätzen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen dienen. Die Ergebnisse zeigen die Entwicklungen über die Zeit und branchenspezifische sowie regionale Besonderheiten, die Aufschluss darüber geben, ob und wie

¹⁴ UBA (2021a): Daten zur Umwelt. Umweltmonitor 2020. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/daten-zur-umwelt_umweltmonitor-2020_webfassung_bf.pdf.

¹⁵ Eurostat (2016): Waste statistics. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics.

¹⁶ Statistisches Bundesamt (2020b): Abfallbilanz - 2018. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.html>.

sich die Patentaktivitäten aufgrund der klimapolitisch induzierten Transformation bereits verändert haben. Darüber hinaus lassen sich anhand der Patente technologiespezifische Entwicklungstrend erkennen. Dies vervollständigt das Bild zu den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in NRW.

Dazu wurden zunächst diejenigen Unternehmen ausgewählt, deren Haupttätigkeit aus der Produktion von Grundstoffen wie

- nicht-medizinischen Chemikalien
- Polymeren und Verbundstoffen
- Eisen und Stahl
- NE-Metallen
- Glas, Beton, Keramik oder Zement- und Baustoffen besteht

und deren Geschäftsmodell nicht ausschließlich die weitere Verarbeitung/Transport/Vertrieb dieser Produkte ist.

Seit 2010 ist die Zahl der Patentanmeldungen dieser Unternehmen, die zudem als Klimaschutzpatente identifiziert werden konnten, angestiegen. Das gilt sowohl in absoluten als auch in relativen Zahlen, gemessen an allen Patentanmeldungen. Abbildung 9 zeigt, dass zuletzt knapp ein Fünftel aller Patentanmeldungen der Grundstoffindustrie einen eindeutigen Klimaschutz-Bezug haben.

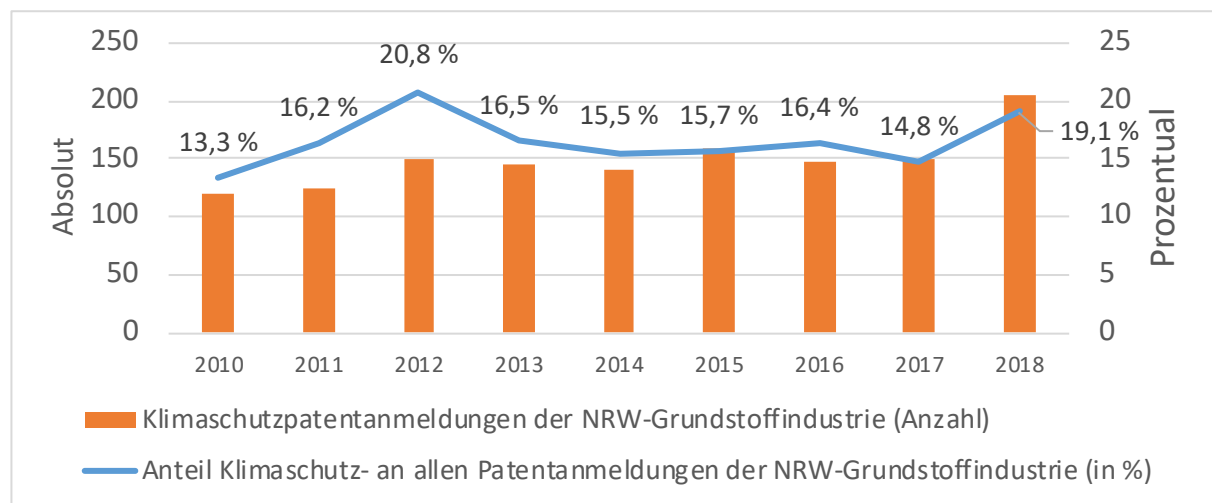


Abbildung 9: Klimaschutzpatentanmeldungen 2010-2018 (absolute und relative Entwicklung)

Die als Klimaschutzpatente identifizierten Anmeldungen lassen sich auch nach den unterschiedlichen Technologien clustern. Die meisten Patente fallen in den Bereich Erneuerbare Energien / Erneuerbarer Strom, gefolgt vom Bereich Effizienz und Wärme (Abbildung 10).

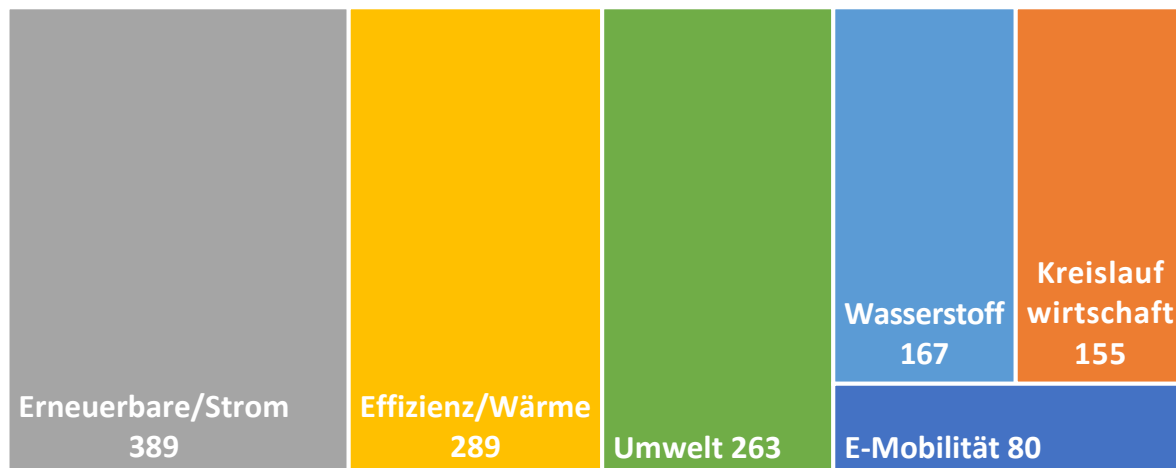


Abbildung 10: Klimaschutztechnologien

Komplementär zur Patentanalyse wurde die Forschungslandschaft in NRW genauer betrachtet. Hierbei standen mit Blick auf die Industrietransformation sowohl Akteure und Politikinstrumente sowie Herausforderungen und Chancen im Vordergrund. Dabei wurde auch im Rahmen der Veranstaltung „Wissenschaft trifft Wirtschaft“ eine Umfrage durchgeführt, in welcher etwa 50 TeilnehmerInnen auch die Forschungsbedingungen in NRW bewerten konnten. Trotz einer relativ guten Bewertung wurden verschiedene Themen benannt, die zukünftig angegangen werden sollten. Hierzu zählen u.a. die Reduktion des bürokratischen Aufwands und die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die folgende Übersicht zeigt, welche Relevanz ausgewählte Handlungsfelder für die TeilnehmerInnen einnehmen (5: sehr relevant, 0: gar nicht relevant):

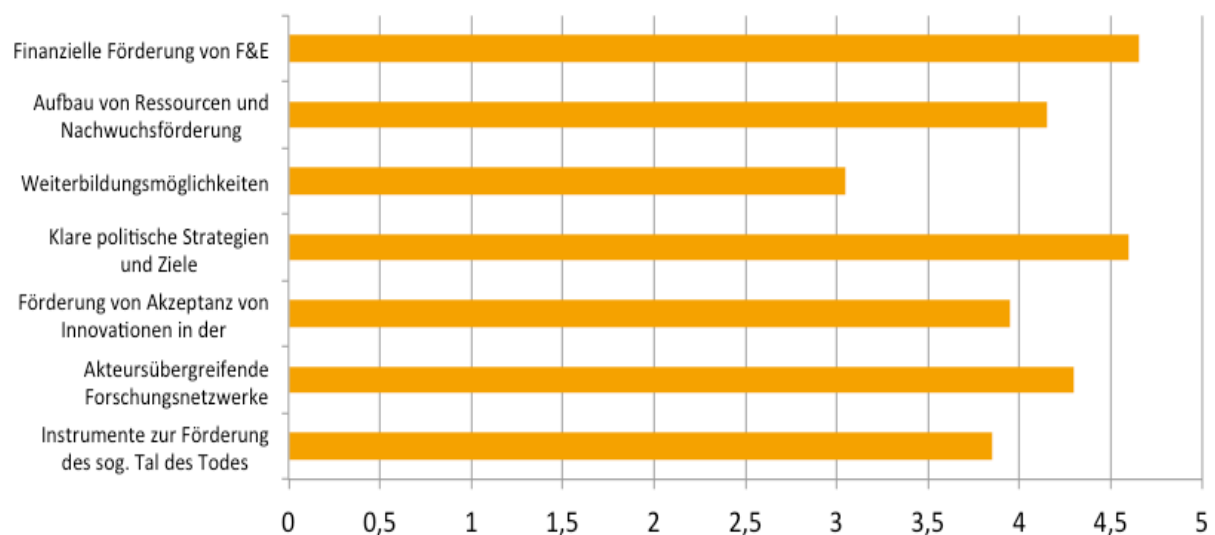


Abbildung 11: Relevanz der Forschungsbedingungen in NRW

Sowohl das Festlegen von klaren Strategien und Zielen als auch die finanzielle Förderung erscheinen gleichsam bedeutend. Die Umfrage sowie weitere Interviews, die mit ExpertInnen aus der Wissenschaft geführt wurden, ergaben, dass insbesondere die Unterstützung von Demonstrations-/ Pilotvorhaben und Reallaboren und Mittel zur Überwindung des „Tal des Todes“ von besonderer Bedeutung für die Industrietransformation sind.

Im zweiten Teil der Analyse konnte aufgezeigt werden, dass Akteure aus NRW besonders aktiv in F&E-Programmen partizipieren. Hierzu zählen sowohl Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen als auch Unternehmen. Die folgende Übersicht zeigt die Mittel aus dem EU-Forschungsprogramm Horizon2020, die in vier Themenfeldern nach Deutschland und NRW geflossen sind.

Tabelle 3: Mittel aus den EU-Forschungsprogramm Horizon 2020

Themenfeld	H2020-Gesamt	Beitrag nach D	Beitrag nach NRW
Carbon Capture Engineering	213 Mio. Euro	24 Mio. Euro	9,5 Mio. Euro
Synthetic Fuels	44 Mio. Euro	16 Mio. Euro	1 Mio. Euro
Electrolysis	433 Mio. Euro	85 Mio. Euro	21 Mio. Euro
Hydrogen Energy	43 Mio. Euro	3,6 Mio. Euro	952.000 Euro

Dies verdeutlicht, dass die EU auch einen wichtigen Fördermittelgeber für NRW-Akteure darstellt. Anhand des Projektes „Carbon2Chem“ zeigt sich, dass die Förderung des Bundes eine herausragende Rolle für Demonstrationsprojekte in NRW spielt. Aber auch die Landesregierung in NRW vergibt relativ viele Forschungsmittel für die Industrietransformation.

6 SCI4climate.NRW Papiere des 2. Forschungsintervalls

6.1 Digitalisierung des Kunststoffrecyclings

Die Studie beschreibt die Kunststoffkreislaufwirtschaft sowie die aktuell vorhandenen Barrieren des Kunststoffrecyclings. Anhand dieser Grundlage werden mögliche Entwicklungsperspektiven für digitale Lösungsansätze aufgezeigt.

https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Produkte_und_Wertschöpfungsketten/digitalisierung-des-kunststoffrecyclings-cr-sci4climatenrw.pdf

6.2 CO₂-Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW: Impuls für eine Infrastrukturgestaltung

In dem Bericht werden anhand unterschiedlicher Zielbilder eine Bandbreite der Jahr 2045 entstehenden CO₂-Mengen einer klimaneutralen Industrie quantifiziert. Auf Basis der Mengen, der geografischen Verteilung und der erwarteten Kosten wird daraus eine mögliche CO₂-Infrastruktur für NRW abgeleitet und diskutiert.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Szenarien/2020/co2-entstehung-der-industrie-in-einem-klimaneutralen-nrw-impuls-für-eine-infrastrukturgestaltung-cr-sci4climatenrw.pdf>

6.3 Konzeptualisierung des möglichen Renewables-Pull-Phänomens

Der Bericht beschäftigt sich mit der möglichen Verlagerung industrieller Produktion hin zu Standorten mit relativ geringen Kosten und guter Verfügbarkeit erneuerbarer Energien.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Szenarien/2020/konzeptualisierung-des-möglichen-renewables-pull-phänomens-cr-sci4climatenrw.pdf>

6.4 Metaanalyse von Klimaschutzszenarien für die Branchen Stahl, Zement und Chemie

Eine Metaanalyse von Klimaschutzszenarien für die Branchen Stahl, Zement und Chemie: Diese Studie vergleicht mehrere vorliegende deutsche, europäische und globale Klimaschutzszenarien in Hinblick auf die Bedeutung, die sie zentralen Klimaschutzstrategien in den drei Branchen jeweils beimessen.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Szenarien/2020/metaanalyse-von-klimaschutzszenarien-für-die-branchen-stahl-zement-und-chemie-cr-sci4climatenrw.pdf>

6.5 Fact Sheet 1: Einführung in die Circular Economy (Teil 1 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft)

Eine Analyse des Status quo der Circular Economy in Deutschland und Europa mit Ableitung von Potenzialen und Herausforderungen auf wirtschaftlicher und politischer Ebene.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/1-factsheet-einführung-in-die-ce-cr-sci4climatenrw.pdf>

6.6 Fact Sheet 2: Abfallhierarchie – Die Stufen der Kreislaufwirtschaft (Teil 2 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft)

Eine Bestandsaufnahme von Zielen und Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung für die Transformation zu einer Circular Economy.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/2-factsheet-abfallhierarchie-cr-schi4climatenrw.pdf>

6.7 Wasserstoff: den Einstieg schaffen

Eine Analyse der bestehenden Herausforderungen und eine Zusammenfassung vorhandener Fortschritte bei politischen Lösungsansätzen zum Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/wasserstoffwirtschaft-den-einstieg-schaffen-cr-schi4climatenrw.pdf>

6.8 Ökologisch nachhaltig oder nicht? Die Einführung der EU Taxonomy for Sustainable Activities

Die Studie setzt sich mit der Ausgestaltung, den Chancen und Risiken der EU-Taxonomie bei der Anwendung bei großen energieintensiven Unternehmen ab dem Berichtsjahr 2021 auseinander.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/ökologisch-nachhaltig-oder-nicht-die-einführung-der-eu-taxonomy-for-sustainable-activities-cr-schi4climatenrw.pdf>

6.9 Wie die EU die 2030-Klimaziele in den Sektoren Straßenverkehr und Gebäudewärme erreichen kann

Die Studie beleuchtet verschiedene Regulierungsoptionen und CO₂-Bepreisungssysteme in den nicht-ETS Sektoren und deren Implikationen, wie sozialen und ökonomischen Verteilungseffekten (Carbon Leakage) auf die energieintensiven Industrien der EU-ETS-Sektoren.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/wie-die-eu-die-2030-klimaziele-in-den-sektoren-straßenverkehr-und-gebäudewärme-erreichen-kann-cr-schi4climatenrw.pdf>

7 Gemeinsam mit IN4climate.NRW erstellte Positionspapiere

7.1 Wege in eine klimaneutrale Industrie nach der Corona-Pandemie

Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Politische Rahmenbedingungen von IN4climate.NRW zu zentralen Anforderungen an Konjunkturprogramme der öffentlichen Hand für ein Industrial-Recovery-Programm nach Ende der Corona-Pandemie.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/IN4climate.NRW/AG-Papiere/2020/in4climatenrw-wege-in-eine-klimaneutrale-industrie-nach-der-corona-pandemie-de.pdf>

7.2 Chemisches Kunststoffrecycling – Potentiale und Entwicklungsperspektiven

Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy von IN4climate.NRW zu Potenzialen und Entwicklungsperspektiven zur Defossilisierung der kunststoffverarbeitenden und chemischen Industrie in NRW.

https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2020/Diskussionspapier_Chemisches_Kunststoffrecycling/in4climatenrw-diskussionspapier-chemisches-kunststoffrecycling-web.pdf

7.3 Industriezukunft konsequent Gestalten- Ausbau erneuerbare Energien bei wettbewerbsfähigen Strompreisen als wichtige Faktor für Klimaneutralität

Positionspapier von IN4climate.NRW zum Vorantreiben der Energiewende durch den Ausbau der erneuerbaren Energien.

<https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Downloads/Ergebnisse/IN4climate.NRW/AG-Papiere/2020/in4climatenrw-positionspapier-erneuerbare-energien.pdf>

7.4 Unvermeidbare CO₂-Entstehung in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie NRW – Definitionen und Kriterien

Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft zur zukünftigen Rolle der Kohlendioxidwirtschaft in Nordrhein-Westfalen.

https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2020/Diskussionspapier_Unvermeidbare_CO2_Entstehung/in4climatenrw-diskussionspapier-unvermeidbare-co2-entstehung-web.pdf

7.5 Klimaschutzverträge für eine beschleunigte Transformation der Industrie

Positionspapier der Arbeitsgruppe politische Rahmenbedingungen von IN4climate.NRW zu den Chancen von Klimaschutzverträgen für die klimaneutrale Industrietransformation.

https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2021/Pressemitteilung_F%C3%B6rderinstrument_f%C3%BCr_Klimaneutralit%C3%A4t/in4climatenrw-positionspapier-klimaschutz-vertr%C3%A4ge-de-web-2021-05.pdf

7.6 Industrierwärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation

Diskussionspapier der AG Wärme von IN4climate.NRW zur Rolle der Prozesswärme in einer klimaneutralen Industrie.

https://www.in4climate.nrw/fileadmin/Nachrichten/2021/Diskussionspapier_klimaneutrale-Industriewaerme/diskussionspapier-klimaneutrale-waerme-industrie-cr-in4climatenrw.pdf