

Vergleich der Strategien für weitgehenden Klimaschutz in der Industrie in deutschen, europäischen und globalen Szenarien

Sascha Samadi und Claus Barthel

Das Ziel der Klimaneutralität ist eine große Herausforderung, insbesondere für die Industrie. Dieser Artikel analysiert und vergleicht verschiedene Strategien zur Transformation des Industriesektors, wie sie in aktuellen deutschen, europäischen und globalen Klimaschutzszenarien beschrieben werden. Zunächst werden zehn Schlüsselstrategien für weitgehende Treibhausgasemissionsreduktionen im Industriesektor identifiziert. Anschließend wird in einer Szenario-Metaanalyse untersucht, in welchem Maße verschiedene Szenarien jeweils auf die einzelnen Strategien setzen. Dabei zeigt sich, dass es zwischen den Szenarien teilweise erhebliche Unterschiede bezüglich der verfolgten Strategien gibt.

Im Dezember 2019 haben sich fast alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union (Ausnahme: Polen) unter Verweis auf das Pariser Klimaschutzabkommen auf das Ziel verständigt, Klimaneutralität in Europa bis zum Jahr 2050 zu erreichen. Ab dann sollen alle noch verbleibenden Treibhausgasemissionen Europas durch eine Entnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre (z. B. über den Einsatz von Biomasse in CCS-Anlagen oder über Aufforstung) kompensiert werden.

Dieses Ziel stellt für alle Sektoren eine Herausforderung dar, aber für den Industriesektor könnte das Ziel aus mehreren Gründen besonders ehrgeizig sein. So gelten insbesondere die prozessbedingten Emissionen verschiedener industrieller Produktionsprozesse, beispielsweise der Zementherstellung, als „schwer vermeidbar“ (engl. „hard to abate“). Außerdem erfordern die oftmals langen Investitionszyklen in der Grundstoffindustrie frühzeitige Investitionen in klimaneutrale Technologien und Prozesse, die sich in einigen Fällen allerdings derzeit noch in Entwicklung befinden.

Aufgrund dieser speziellen Herausforderungen im Industriesektor erscheint es besonders wichtig, Szenarien zu entwickeln und zu diskutieren, die aufzeigen, wie die Industrie bis Mitte des Jahrhunderts (weitgehend) klimaneutral produzieren könnte. Im Folgenden wird eine Metaanalyse der in ausgewählten globalen, europäischen und deutschen Klimaschutzszenarien beschriebenen Entwicklungen des Industriesektors durchgeführt. Ziel des Artikels ist es zum einen, einen Überblick über die verschiedenen Strategien zu geben, die zur Verfügung stehen, um weitgehende Emissionsminde-

rungen im Industriesektor zu erreichen, und zum anderen die wichtigsten Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Szenarien bei der Wahl dieser Strategien zu identifizieren und zu diskutieren.

Identifikation von Schlüsselstrategien

Wie die Abbildung veranschaulicht, schlagen wir vor, zehn Strategien in vier übergreifenden Kategorien zu unterscheiden, die jeweils relevante Beiträge zur Emissionsreduktion im Industriesektor leisten können. Im Folgenden wird zunächst kurz auf jede dieser zehn Strategien eingegangen, bevor ihre jeweilige Rolle in ausgewählten Klimaschutzszenarien analysiert wird:

Die Strategie der *direkten Elektrifizierung* zielt darauf ab, die Nutzung fossiler Brennstoffe durch die direkte Nutzung von Elektrizität zu ersetzen. Unter der Voraussetzung, dass der Strom aus kohlenstoffarmen oder kohlenstofffreien Quellen stammt, können die Treibhausgasemissionen stark reduziert oder ganz vermieden werden. Diese Strategie spielt in allen Endenergiesektoren eine wichtige Rolle in Klimaschutzszenarien und ist auf einen schnellen weiteren Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien angewiesen. Über alle Industriebranchen hinweg, insbesondere aber in der chemischen Industrie, kann z. B. die Erzeugung von Nieder- bis Hochtemperaturwärme über sog. „Power-to-Heat“-Anwendungen weitgehend auf die Nutzung von Strom umgestellt werden.

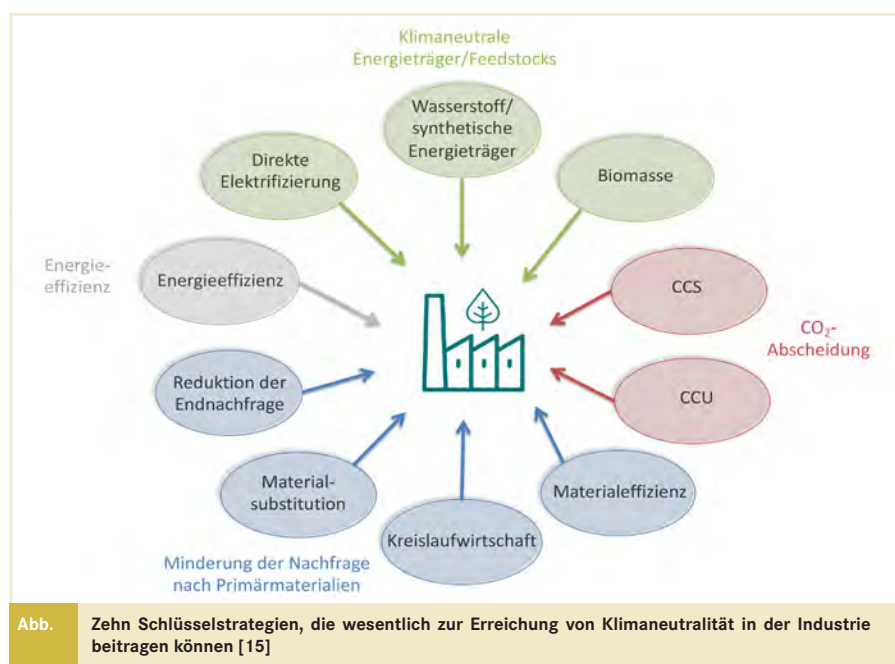


Abb. Zehn Schlüsselstrategien, die wesentlich zur Erreichung von Klimaneutralität in der Industrie beitragen können [15]

■ Es wird erwartet, dass *klimaneutraler Wasserstoff* und *synthetische Energieträger* eine wichtige Rolle bei der Erzielung tiefgreifender Emissionsminderungen in der Grundstoffindustrie spielen werden. Die Realisierung einer klimaneutralen Primärstahlproduktion kann z. B. den Einsatz von Wasserstoff in sog. Direktreduktionsanlagen erfordern. Darüber hinaus könnte Wasserstoff in Zukunft in der chemischen Industrie in großen Mengen als Feedstock genutzt werden. Auch klimaneutrale synthetische Kraftstoffe könnten in Zukunft im industriellen Bereich eine Rolle spielen, entweder als Energieträger oder als Feedstock.

■ Eine Minderung der Treibhausgasemissionen kann auch durch den Ersatz fossiler Energieträger durch *Biomasse* erreicht werden. Wichtige potenzielle Einsatzgebiete für Biomasse in der Industrie sind die Bereitstellung von Wärme und die Nutzung als Feedstock für die chemische Grundstoffindustrie. Zukünftige Anwendungen von Biomasse können auch die Nutzung in Kombination mit CCS in Industrieanlagen zur Erzielung negativer Emissionen (BECCS) oder ein anteiliger Einsatz als klimaneutraler Kohlenstofflieferant bei der wasserstoffbasierten Stahlproduktion sein. Es ist jedoch zu beach-

ten, dass das nachhaltige Biomassepotenzial begrenzt und in der Höhe umstritten ist [1].

■ Die Steigerung der *Energieeffizienz* ist eine wichtige ergänzende Strategie für eine weitgehende Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Industrie. Die Realisierung von Energieeffizienzpotenzialen in Querschnittstechnologien wie Motoren und Pumpen sowie in sektorspezifischen Prozessen kann den Druck zur Nutzung anderer Minderungsstrategien verringern.

■ Die *Abscheidung und dauerhafte Speicherung von energie- oder prozessbedingtem CO₂ (CCS)* kann prinzipiell an verschiedenen Industrieanlagen eingesetzt werden. Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit eignen sich für den Einsatz von CCS vor allem solche Industrieanlagen, in denen relativ große Mengen an CO₂ in hoher Konzentration entstehen. Hierzu zählen insbesondere die Standorte der Primärstahlerzeugung sowie die Dampferformer zur Erzeugung von Wasserstoff auf Erdgasbasis. Auch die Steamcracker der chemischen Industrie sowie größere Anlagen der Industrie zur Erzeugung von Strom und Wärme sind wichtige Punktquellen für CO₂-Emissionen und könnten mit CCS ausgerüstet werden. CCS könnte zudem für weitgehende Emis-

sionsminderungen bei der Zementherstellung unverzichtbar sein.

■ Bei der *CO₂-Abscheidung und -Nutzung (CCU)* wird CO₂ aus industriellen Prozessen abgetrennt und als Rohstoff in anderen Sektoren und Produkten verwendet. Wie bei CCS ist die CO₂-Abscheidung an großen Punktquellen denkbar, z. B. bei der Zementherstellung. Mögliche CCU-Anwendungen sind synthetische Kraftstoffe und chemische Produkte (z. B. Kunststoffe und kohlenstoffhaltige Düngemittel), die auch in einer klimaneutralen Welt weiterhin auf Kohlenstoff angewiesen sein werden [2]. Wenn der fossile Kohlenstoff, der in neuen Produkten verwendet wird, jedoch nicht kontinuierlich im Kreis geführt (z. B. durch chemisches Recycling) oder schließlich dauerhaft gespeichert werden kann, fallen am Ende der Lebensdauer der Produkte doch fossile CO₂-Emissionen an.

■ Die Strategie der *Steigerung der Materialeffizienz* zielt darauf ab, bestimmte Funktionen von Materialien mit weniger Materialeinsatz zu erfüllen. Wenn dies gelingt, kann die Strategie die Nachfrage nach der Produktion von Grundstoffen reduzieren. Das Ziel der Erhöhung der Materialeffizienz kann auf verschiedene Weise erreicht werden. So können Materialverluste im Herstellungsprozess reduziert, die Materialintensität von Produkten verringert oder aber Produkte intensiver genutzt werden.

■ Schritte hin zu einer *Kreislaufwirtschaft* im Sinne einer weitgehenden Wiederverwendung bereits produzierter (und genutzter) Materialien könnten einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung zukünftiger Treibhausgasemissionen der Grundstoffindustrie leisten [3]. Die Realisierung hoher Recyclingraten erfordert jedoch Änderungen im Produktdesign, eine angemessene Demontage der Produkte am Ende ihrer jeweiligen Lebensdauer und eine verbesserte Recyclinglogistik.

■ Eine *Materialsstitution* kann in einigen Fällen die Emissionsintensität einzelner Produkte oder Dienstleistungen verringern. Ein Beispiel ist die Verwendung von Holz für den (teilweisen) Ersatz von Beton und Stahl beim Bau von Gebäuden. Gebäude, die Beton und Stahl teilweise durch Holz ersetzen, weisen geringere Lebenszyklusemissionen auf [4]. Einschränkungen in der nachhaltigen Verfügbarkeit alternativer Materialien sowie z. T. unzureichende Materialeigenschaften stellen jedoch Grenzen der Materialsstitutionsstrategie dar.

Tab. 1: Überblick über die sieben Studien und zehn Szenarien, die in der Metaanalyse enthalten sind

Institution und Jahr der Veröffentlichung	Name der Studie	Name der in der Metaanalyse berücksichtigten Szenarien	Veränderung der Treibhausgas- oder CO ₂ -Emissionen bis 2050 (im Vergleich zu 1990)	
			Alle Sektoren	Sektor Industrie
DEUTSCHLAND				
UBA 2019 [8]	Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität	GreenEe1	-96 %	-95 %
		GreenSupreme	-97 %	-97 %
dena 2018 [9]	dena-Studie Integrierte Energiewende	TM95	-95 %	-91 %
		EL95	-95 %	-91 %
BDI 2018 [10]	Klimapfade für Deutschland	95 % Pfad	-95 %	-95 %
EUROPA				
EC 2018 [11]	A Clean Planet for all – A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy	1.5TECH	-100 %	-92 %
		1.5LIFE	-100 %	-93 %
ECF 2018 [12]	Net-Zero by 2050: From Whether to How	Shared-efforts	-99 %	-92 %
WELT				
IEA 2017 [13]	Energy Technology Perspectives 2017	B2DS	-78 %	-38 %
ETC 2018 [14]	Mission possible – Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century	Supply Side	-91 %	-74 %

Die Nachfrage nach Industrieprodukten, einschließlich energieintensiver Grundstoffe, könnte im Vergleich zu einer Business-as-Usual-Entwicklung durch eine bewusste *Reduktion der Nachfrage* der Endverbraucher nach Gütern und Dienstleistungen verringert werden [5]. Ein Rückgang des Autobesitzes würde beispielsweise die Stahlnachfrage für die Herstellung von Autos mindern.

Relevanz der Schlüsselstrategie in ausgewählten Szenarien

Im Folgenden wird analysiert und verglichen, inwieweit in ausgewählten Klimaschutzszenarien für Deutschland, Europa und die Welt auf die zuvor vorgestellten Emissionsminderungsstrategien gesetzt wird [6]. Tab. 1 zeigt die sieben Studien und zehn Szenarien, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden.

Die direkte Elektrifizierung im Industriesektor ist in vielen der analysierten Szenarien eine wichtige Minderungsstrategie (siehe Tab. 2). Der Anteil der Elektrizität an der Endenergienachfrage steigt in den meisten der analysierten Szenarien beträchtlich an.

Das Szenario EL95 stellt bezüglich der direkten Elektrifizierung einen Ausreißer dar. Mit 69 % weist es den bei weitem höchsten Anteil von Strom an der Endenergienachfrage im Jahr 2050 auf. In diesem Szenario wird explizit untersucht, inwieweit die Direkt-

elektrifizierungsstrategie zur Substitution fossiler Energieträger in allen Wirtschaftssektoren maximal beitragen könnte. Es wird u. a. davon ausgegangen, dass der industrielle Wärmebedarf zunehmend durch Power-to-Heat-Anwendungen gedeckt wird. Außerdem wird die Produktion von Ethen schrittweise auf den stromintensiven Produktionsweg „Methanol to Olefins“ (MTO) umgestellt. Die Autoren der Studie kommen allerdings auch zu dem Schluss, dass eine derart starke direkte Elektrifizierungsstrategie im Vergleich zu einer ausgewogeneren Wahl von Vermeidungsstrategien deutlich teurer ist.

CO₂-neutral erzeugter Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe werden in den meisten der analysierten Szenarien bis 2050 in erheblichem Umfang eingesetzt. Ihr gemeinsamer Anteil am Endenergiebedarf der Industrie steigt typischerweise auf mindestens 11 % und auf bis zu 58 % im Jahr 2050. Nur der 95 %-Pfad und das 2BDS-Szenario verwenden (nahezu) keinen Wasserstoff oder synthetische Energieträger, um die Endenergienachfrage im Industriesektor zu decken. Die analysierten Szenarien gehen davon aus, dass bis 2050 der Wasserstoff und die synthetischen Energieträger größtenteils oder vollständig aus Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Während sich das Szenario „Supply Side“ ausschließlich auf Wasserstoff stützt, ist synthetisches Methan in den Szenarien GreenEe1, GreenSupreme, TM95, EL95, 1.5TECH und 1.5LIFE eine wichtigere

Energiequelle im Industriesektor als Wasserstoff. Diese Unterschiede deuten darauf hin, dass noch kein Konsens über die zukünftige Bedeutung von Wasserstoff gegenüber synthetischen Energieträgern besteht.

Die Strategie einer verstärkten Nutzung von Biomasse wird in vielen der analysierten Szenarien im Industriesektor angewandt. Der Anteil der Biomasse an der Endenergienachfrage der Industrie verdoppelt sich in den meisten europäischen und globalen Szenarien (Ausnahme: Szenario „Supply Side“) bis 2050 etwa. Mit einer Ausnahme bleibt in allen deutschen Szenarien der Anteil der Biomasse hingegen in etwa konstant. Nur im 95 %-Pfad steigt der Anteil von 4 % im Jahr 2015 auf 34 % im Jahr 2050 deutlich und liegt damit sogar wesentlich höher als in allen betrachteten europäischen und globalen Szenarien. Wesentliche Gründe für den unterschiedlich starken Biomasseinsatz dürften abweichende Einschätzungen bezüglich des nachhaltigen Biomassepotenzials wie auch ihres optimalen Einsatzes (z. B. Industrie gegenüber Verkehr) sein.

Die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) wird als Minderungsstrategie im Industriesektor in allen bis auf zwei der analysierten Szenarien eingesetzt, typischerweise in Hochöfen, Zementöfen und Dampfreformierungsanlagen. Allerdings unterscheidet sich das Ausmaß erheblich, in dem CCS zur Minderung sowohl der energie- als auch der prozessbedingten Emissionen eingesetzt wird. In einigen der Szenarien wird im Jahr 2050 eine Menge CO₂ abgeschieden und sequestriert, die 8 oder 9 % der CO₂-Emissionen des Industriesektors im Basisjahr entspricht. Ein deutsches Szenario (95 %-Pfad, 49 %), ein europäisches Szenario (1.5TECH, 35 %) und beide globalen Szenarien (B2DS, 41 % und Supply Side, 52 %) weisen jedoch wesentlich höhere Anteile auf. In diesen Szenarien stellt der Einsatz von CCS eine besonders wichtige Strategie dar. Von allen analysierten Szenarien gehen nur die beiden deutschen Szenarien des Umweltbundesamtes nicht von einem zukünftigen Einsatz von CCS aus und verweisen auf damit verbundene Umweltrisiken und mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz für den Einsatz dieser Technologie.

Tab. 2: Bedeutung klimaneutraler Energieträger im Endenergiebedarf des Industriesektors im Jahr 2050

Szenario	Anteil der Elektrizität		Anteil von Wasserstoff und synthetischen Energieträgern		Anteil der Biomasse	
	Basisjahr	2050	Basisjahr	2050	Basisjahr	2050
DEUTSCHLAND						
GreenEe1	31 %	39 %	0 %	58 %	4 %	4 %
GreenSupreme	31 %	39 %	0 %	58 %	4 %	3 %
TM95	35 %	36 %	0 %	49 %	3 %	4 %
EL95	35 %	69 %	0 %	20 %	3 %	3 %
95 % Pfad	32 %	34 %	0 %	0 %	4 %	34 %
EUROPA						
1.5TECH	31 %	55 %	0 %	19 %	9 %	16 %
1.5LIFE	31 %	51 %	0 %	20 %	9 %	18 %
Shared-efforts	31 %	54 %	0 %	11 %	12 %	22 %
WELT						
B2DS	23 %	29 %	0 %	k. A. (klein)	6 %	11 %
Supply Side	23 %	57 %	0 %	23 %	6 %	6 %

In den Szenarien GreenEe1, GreenSupreme, 95 %-Pfad, Shared-efforts und B2DS spielt CCU keine oder nur eine marginale Rolle. In den Szenarien TM95 und EL95 wird angenommen, dass 5 Mt abgeschiedenes CO₂ (entsprechend 3 % der CO₂-Emissionen des Industriesektors im Basisjahr) bis 2050 genutzt werden können. Die Studie liefert jedoch keine Einzelheiten zu den genauen CCU-Anwendungen. Die europäischen Szenarien 1.5TECH und 1.5LIFE stützen sich stärker auf die CCU-Strategie. Das aus industriellen Quellen abgeschiedene CO₂ wird dort hauptsächlich für die Produktion von synthetischen Materialien, v. a. Kunststoffen, aber auch Baumaterialien, verwendet. Keines der analysierten Szenarien liefert Einzelheiten über die genaue Art der angenommenen CCU-Technologien oder über das langfristige CO₂-Reduktionspotenzial der CCU-Anwendungen.

Die Strategien zur Verringerung der Nachfrage nach Primärmaterialien werden in den analysierten Szenarien in sehr unterschiedlichem Ausmaß verfolgt. Zwei deutsche Szenarien (GreenEe1 und GreenSupreme) und zwei europäische Szenarien (1.5LIFE, Shared-efforts) stützen sich auf jede der vier

oben unterschiedenen Teilstrategien, um die Nachfrage nach Primärrohstoffen zu reduzieren. In Übereinstimmung mit den Storylines dieser Szenarien wird dort davon ausgegangen, dass die Menschen in Zukunft nicht nur Änderungen im Design von Produkten akzeptieren, sondern auch weniger Produkte und Dienstleistungen nachfragen sowie bestimmte Produkte stärker gemeinsam nutzen. In den anderen analysierten Szenarien werden weniger oder keine Teilstrategien zur Reduzierung der Materialnachfrage verfolgt.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Tab. 3 gibt einen zusammenfassenden Überblick darüber, inwieweit die zehn analysierten Szenarien jeweils auf neun [7] Schlüsselstrategien zurückgreifen, um bis 2050 weitgehende Emissionsminderungen im Industriesektor zu erreichen. Ein Ergebnis ist, dass die analysierten Szenarien verschiedene Kombinationen von Strategien verfolgen. Dies deutet darauf hin, dass unterschiedliche Wege zu einer weitgehenden Emissionsminderung im Industriesektor führen können und dass es bisher keinen brei-

ten Konsens über die wahrscheinlichste oder zu bevorzugende Kombination von Strategien gibt. Bemerkenswerterweise wird keine der neun analysierten Strategien in allen Szenarien als eine zentrale Minderungsstrategie verfolgt. Weitgehende Emissionssenkungen im Industriesektor erfordern also zwar eine Kombination verschiedener Strategien, es könnte aber einen gewissen Spielraum für Gesellschaften geben, sich gegen die Verfolgung einzelner Strategien zu entscheiden. Eine andere Interpretation dieses Ergebnisses könnte sein: Wenn alle Strategien verfolgt würden, könnte dies einen besonders robusten Ansatz darstellen, um bis Mitte des Jahrhunderts Treibhausgasneutralität zu erreichen.

Unterschiede in der Kombination der Strategien zwischen den analysierten Szenarien könnten bis zu einem gewissen Grad auf die unterschiedliche regionale Abdeckung der Studien zurückzuführen sein. Beispielsweise wird das Potenzial für eine stärkere Nutzung heimischer Biomasse in Deutschland weithin als sehr begrenzt angesehen, was erklären könnte, warum viele deutsche Szenarien nicht stark auf diese Strategie setzen.

Tab. 3: Überblick über die Rolle von neun Schlüsselstrategien zur Minderung der Treibhausgasemissionen des Industriesektors in den analysierten Szenarien

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									
GreenEe1	++	+++	○	○	○	++	+++	++	++
GreenSupreme	++	+++	○	○	○	+++	+++	+++	+++
TM95	○	+++	○	+	+	○	+	○	○
EL95	+++	++	○	+	+	○	+	○	○
95 % Pfad	○	○	+++	+++	○	○	+	○	○
EUROPA									
1.5TECH	++	++	++	+++	+++	○	○	○	○
1.5LIFE	++	++	++	+	++	+	+	+	++
Shared-efforts	++	+	++	+	○	++	++	++	++
WELT									
B2DS	+	○	++	+++	○	+	+	○	○
Supply Side	+++	++	○	+++	++	○	○	○	○
○ = Strategie wird nicht oder nur marginal verfolgt + / ++ / +++ = Strategie wird in mäßigem / starkem / sehr starkem Maße verfolgt									

Es überrascht nicht, dass sich die von den Auftraggebern der Studien jeweils verfolgten Prioritäten auch in der Wahl der Strategien der Szenarien widerspiegeln. Beispielsweise betont das UBA generell die Notwendigkeit von Umweltverbesserungen in verschiedenen Bereichen. Folglich konzentrieren sich die Szenarien in ihrer Studie stärker als andere Szenarien auf Strategien, die den Bedarf an Primärmaterialien reduzieren, und es werden die verschiedenen ökologischen Vorteile eines solchen Ansatzes betont.

Die vom BDI in Auftrag gegebene Studie konzentriert sich dagegen stark auf die Strategien der Biomassennutzung und CCS. Die Autoren argumentieren, dass diese Strategien voraussichtlich am kosteneffizientesten sind und daher dazu beitragen könnten, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie zu erhalten. Gleichzeitig zählen diese beiden Strategien auch zu den am wenigsten transformativen. Durch die Substitution eines Energieträgers durch einen anderen (Biomasse) und das Hinzufügen einer End-of-Pipe-Lösung (CCS) zu bestehenden Technologien und Prozessen kann das Risiko des Wertverlusts bestehender Anlagen minimiert werden.

Anmerkungen/Literatur

- [1] Roth, A.; Riegel, F.; Batteiger, V.: Potentials of Biomass and Renewable Energy: The Question of Sustainable Availability, in: Kaltschmitt, M. und Neuling, U. (Hrsg.): Biokerosene – Status and Prospects. Berlin und Heidelberg. 2018.
- [2] Farfan, J.; Fasihi, M.; Breyer, C.: Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X, in: Journal of Cleaner Production 217, 821-835, 2019.
- [3] Material Economics: Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry, 2019.
- [4] Tettey, U. Y. A.; Dodoo, A.; Gustavsson, L.: Carbon balances for a low energy apartment building with different structural frame materials, in: Energy Procedia 158, 4254-4261, 2019 und Skullestad, J. L.; Bohne, R. A.; Lohne, J.: High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Alternatives, in: Energy Procedia 96, 112-123, 2016.
- [5] Kainuma, M.; Miwa, K.; Ehara, T.; Akashi, O.; Asayama, Y.: A low carbon society: global visions, pathways, and challenges, in: Climate Policy 13, 5-21, 2013.
- [6] Aufgrund des Mangels an ausreichend detaillierten Daten in den Studien ist ein Vergleich der Energieeffizienzverbesserungen in den Szenarien nicht möglich. Daher bezieht sich die folgende Metaanalyse nur auf neun der zehn oben unterschiedenen Strategien.
- [7] Die zehnte Schlüsselstrategie (Energieeffizienz) konnte hier aufgrund unzureichender Informationen in den Szenariostudien nicht analysiert werden.
- [8] UBA: Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung, Dessau-Roßlau, 2019.
- [9] dena: Leitstudie integrierte Energiewende. Gutachterbericht von ewi Energy Research & Scenarios gGmbH im Auftrag der dena. Berlin. 2018.
- [10] BDI: Klimapfade für Deutschland. Boston Consulting Group und Prognos im Auftrag des BDI. 2018.
- [11] EC: A Clean Planet for all – A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, 2018.
- [12] ECF: Net-Zero by 2050: From Whether to How – Zero Emission Pathways to the Europe we want, 2018.
- [13] IEA: Energy Technology Perspectives 2017, Paris, 2017.
- [14] ETC: Mission Possible – Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century, 2018.
- [15] Erstellt auf Grundlage von Agora Energiewende/Wuppertal Institut: Klimaneutrale Industrie – Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin, 2019.

*S. Samadi und C. Barthel, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal
sascha.samadi@wupperinst.org*

Dieser Artikel wurde im Rahmen des Projekts SCI4climate.NRW verfasst, das vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wird. Er erscheint in längerer englischsprachiger Fassung im Tagungsband der Konferenz „Industrial Efficiency 2020“.

NEWS | MAGAZINE | JOBS | MARKTPARTNER | TERMINE

www.energie.de/jobs

Das Portal der Energiewirtschaft

energie.de

Aktuell und spartenübergreifend