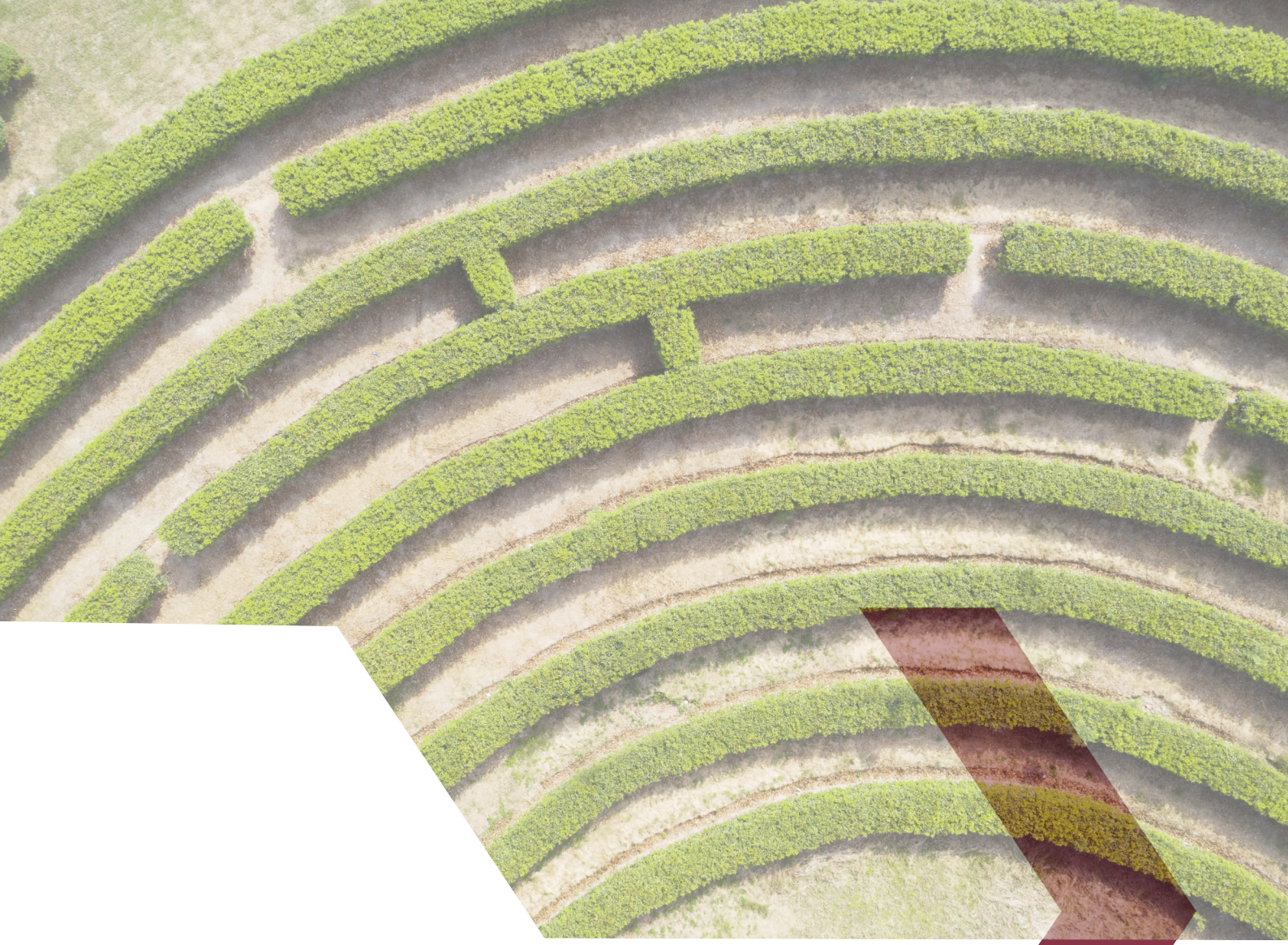


Ariadne-Report

Die Grand Challenges der Energiewende

Sechs Jahre Energiewendeforschung: Bilanz und Perspektiven

KOPERNIKUS PROJEKTE
Ariadne
Die Zukunft unserer Energie

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Autorinnen und Autoren

Hauptautorinnen und -autoren
Ann-Katrin Schenk (PIK)
Lukas Hoff (PIK)
Paula Schöberlein (PIK)
Gunnar Luderer (PIK)
Frederike Bartels (PIK)
Ottmar Edenhofer (PIK)

3. Der Ariadne-Lernprozess
Lukas Hoff (PIK)
Katja Treichel-Grass (PIK)

AP1: Szenarienforum Klimaneutralität
Gunnar Luderer (PIK)
Frederike Bartels (PIK)
Tom Brown (TUB)
Michael Lindner (TUB)
Julian Geis (TUB)

AP2: Verteilungsfragen und gesellschaftliche Trägerschaft
Benita Ebersbach (RIFS)
Matthias Kalkuhl (PIK)
Maximilian Kellner (PIK)
Michael Krug (TUM)
Nikolaj Moretti (PIK)
Karolina Rütten (PIK)
Katja Treichel-Grass (PIK)

AP3: Energiesicherheit, Klimaneutralität und (De-)Globalisierung
Simon Feindt (PIK)
Michael Pahle (PIK)
Johannes Brehm
Matthias Duwe (Ecologic Institute)
Nick Evans (Ecologic Institute)
Annika Gillich (Universität Stuttgart)
Henri Gruhl (RWI Essen)
Jana Nysten (Stiftung Umweltenergierecht)
Darius Sultani (PIK)

AP 4.1 & 4.3: Governance im Mehrebenensystem
Christian Flachsland (Hertie School)
Jörg Kemmerzell (TU Darmstadt)
Michèle Knodt (TU Darmstadt)
Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht)
Sabine Schlacke (Universität Greifswald)
Julia Sulerz (Hertie School)
Eva-Maria Thierjung (Universität Greifswald)

AP4.2: Internationale Governance
Matthias Kalkuhl (PIK)
Christian Flachsland (Hertie School)
Marian Feist (Hertie School)

AP5: Strom- und Energiemarktdesign auf dem Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem
Anna Billerbeck (Fhg-ISI)
Alexander Burkhardt (Fhg-ISI)
Markus Kahles (Stiftung Umweltenergierecht)
Johanna Kamm (Stiftung Umweltenergierecht)

AP6: Industriewende, Wasserstoffstrategie und vulnerable Wertschöpfungsketten
Tobias Fleiter (Fhg-ISI)
Meta Thurid Lotz (Fhg-ISI)
Luna Lütz (Fhg-ISI)
Benjamin Pfluger (Fhg-IEG)
Toni Seibold (TUB)
Philipp C. Verpoort (PIK)
Simon Bussmann (Fhg-ISI)
Thobias Sach (Guidehouse)
Falko Ueckerdt (PIK)
Philipp Creutzburg (Guidehouse)
Jannis Speckmann (Guidehouse)

AP7: Verkehrswende
Nicolas Koch (PIK)
Patrick Plötz (Fhg-ISI)
Peter Haan (DIW Berlin)
Katja Treichel-Grass (PIK)

AP8: Wärmewende sowie Wärme- & Wohnen-Panel
Ralph Henger (IW)
Sebastian Herkel (Fhg-ISE)
Kathrin Kaestner (RWI Essen)
Benjamin Köhler (Öko-Institut e.V.)
Christoph Kost (Fhg-ISE)
Dennis Tänzler (adelphi)
Lukas Hoff (PIK)
Katja Teichel-Grass (PIK)

Projektleitung Ariadne
Ottmar Edenhofer, Leitung
Gunnar Luderer, Stellv. Leitung

Beteiligte Institute:

PIK: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
TUB: Technische Universität Berlin
TUM: Technische Universität München
Fhg-ISI: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
Fhg-ISE: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
Fhg-IEG: Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geotechnologien
RWI Essen: RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
RIFS: Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit | am GFZ
DIW Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
IW: Institut der deutschen Wirtschaft

Dieses Papier zitieren:
Ann-Katrin Schenk, Lukas Hoff, Paula Schöberlein, Gunnar Luderer, Frederike Bartels, Ottmar Edenhofer, Anna Billerbeck, Johannes Brehm, Tom Brown, Alexander Burkhardt, Simon Bussmann, Philipp Creutzburg, Matthias Duwe, Benita Ebersbach, Simon Feindt, Marian Feist, Christian Flachsland, Tobias Fleiter, Julian Geis, Annika Gillich, Henri Gruhl, Peter Haan, Ralph Henger, Sebastian Herkel, Markus Kahles, Matthias Kalkuhl, Johanna Kamm, Kathrin Kaestner, Maximilian Kellner, Jörg Kemmerzell, Michèle Knodt, Nicolas Koch, Benjamin Köhler, Christoph Kost, Michael Krug, Michael Lindner, Meta Thurid Lotz, Luna Lütz, Nikolaj Moretti, Thorsten Müller, Jana Nysten, Michael Pahle, Benjamin Pfluger, Patrick Plötz, Karolina Rütten, Thobias Sach, Sabine Schlacke, Toni Seibold, Jannis Speckmann, Julia Sulerz, Darius Sultani, Dennis Tänzler, Katja Treichel-Grass, Eva-Maria Thierjung, Falko Ueckerdt, Philipp C. Verpoort (2026): Die Grand Challenges der Energiewende. Sechs Jahre Energiewendeforschung: Bilanz und Perspektiven. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.
https://doi.org/10.48485/pik.2026.27

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren: Ann-Katrin Schenk,
ann-katrin.schenk@pik-potsdam.de

Der vorliegende Ariadne-Report wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Er spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt erstellt.

Herausgegeben von
Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

Oktober 2026

Bildnachweis
zhu difeng / Adobe Stock

"Klimaschutz ist dann erfolgreich, wenn die breite Gesellschaft ihn mitträgt. Deshalb freue ich mich, dass die Ariadne-Studie sich intensiv mit Fragen der Beteiligung und Akzeptanz befasst hat. Die Ergebnisse liefern zahlreiche Hinweise für die Politik. Zum Beispiel, dass Akzeptanz nicht von allein kommt, sondern an Bedingungen geknüpft ist. Unter anderem kommt es darauf an, klimapolitische Maßnahmen so zu gestalten, dass sie sozial ausgewogen und leicht verständlich sind. Ich danke den Autorinnen und Autoren der Studie für ihre wichtige Arbeit."

- Carsten Schneider, Bundesminister für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit





"Wissenschaftliche Expertise, praxisnahe Politikberatung und integrierte Analysen prägten das Kopernikus-Projekt Ariadne. Besonders war, dass komplexe Zusammenhänge verständlich aufbereitet und fundierte Entscheidungsgrundlagen geschaffen wurden. Möglich wurde dies durch den kontinuierlichen Dialog mit Stakeholdern aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Transformation braucht Evidenz und Dialog. Ökologische, industriepolitische und soziale Belange wurden dabei gleichermaßen berücksichtigt."

- Kerstin Andreae, Vorsitzende der Hauptgeschäftsführung, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft

"Ariadne is helping to shape the energy transition and sectoral transformation in Germany and across Europe through its systemic analysis, dialogues with stakeholders, and collaborative learning. Connecting scientific excellence with practical policy insights, the project has strengthened the debate on the pathway to climate neutrality. Evidence-based policy and stakeholder engagement are key to delivering a secure, competitive and decarbonised Europe. Ariadne's impacts will continue to serve as a strong foundation for robust, well- informed policymaking beyond the project's lifetime. We need more Ariadnes."

- Kurt Vandenberghe, Generaldirektor, DG CLIMA





"Das Kopernikus-Projekt „Ariadne" hat wichtige Orientierung für die Energiewende gegeben. Besonders wertvoll sind die gut nachvollziehbaren Szenarien, der klare Vergleich politischer Instrumente und die verständliche Darstellung von Kosten und sozialen Folgen. Ariadne hat gezeigt, dass Klimaneutralität erreichbar und bezahlbar ist, wenn Maßnahmen gut aufeinander abgestimmt werden und gesellschaftliche Akzeptanz mitgedacht wird."

- Annegret Kramp-Karrenbauer, Vorsitzende der Konrad-Adenauer-Stiftung, Bundesministerin a. D.

"Ariadne hat gleichermaßen Orientierung bei den großen Fragen der Energiewende gegeben wie Antworten auf die vielen Herausforderungen ihrer praktischen Umsetzung. Das IW konnte hierzu mit Arbeiten zum Vermieter-Mieter-Dilemma, zu den Anreizen und Kosten energetischer Modernisierungen sowie mit dem Wärme- und Wohnenpanel wichtige Impulse setzen. Besonders zu würdigen ist, dass sich Ariadne als neutrale wissenschaftliche Stimme etabliert hat, deren Analysen in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft gleichermaßen geschätzt werden."

- Prof. Dr. Michael Hüther, Direktor, Institut der deutschen Wirtschaft





"Das Ariadne-Projekt liefert wichtige Analysen und Anregungen – unter anderem für die Wärmewende. Die Folgen von Kriegen und Konflikten weltweit auf die fossilen Energiepreise zeigen, welche Bedeutung Energieunabhängigkeit hat - und dass eine effiziente und sparsame Nutzung von Energie ebenso wichtig ist wie der Umstieg auf Erneuerbare. Vor allem der Bedarf für effektive Politikinstrumente, die den Energieverbrauch unserer Gebäude deutlich senken, ist nach wie vor hoch.

Das Ariadne-Projekt hat hier mit Bürgerdialogen und internationalen Perspektiven wertvolle Anregungen für die Politik geliefert."

- Dr. Julia Verlinden, MdB, stellvertretende Fraktionsvorsitzende Bündnis 90/Die Grünen

"Das Ariadne Projekt hat die energie- und klimapolitische Debatte mit wissenschaftlich fundierten und gleichzeitig praxisnahen Analysen bereichert und so auf eine belastbare Grundlage gestellt. Besonders schätze ich an Ariadne den sektorübergreifenden Blick auf die Transformation, die einhergeht mit der Fähigkeit, komplexe Zielkonflikte darzustellen und Lösungs- sowie Handlungsoptionen fundiert zu benennen. Die Arbeiten des Projekts haben wichtige Impulse für einen faktenbasierten Dialog zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft geliefert."

- Holger Lösch, Hauptgeschäftsführer, Bundesverband der Deutschen Industrie





"Ariadne hat geliefert, was gute Klimapolitik braucht: solide wissenschaftliche Grundlagen. Besonders wertvoll für mich war die jüngste Analyse fossiler Subventionen: Staatliche Entlastungsmaßnahmen während der Energiekrise wirkten wie eine implizite Versicherung für fossile Abhängigkeiten und bremsen die Energiewende aus. Wieder einmal wird deutlich: Das Wissen ist da. Was fehlt, ist der politische Wille, es umzusetzen. Statt Subventionen für fossile Energieträger zu verteidigen, müssen wir endlich konsequent in erneuerbare Energien und radikal in die sozial gerechte Transformation investieren."

- Dr. Fabian Fahl, MdB, klimapolitischer Sprecher, Bundestagsfraktion Die Linke



"In einer stärker polarisierten Gesellschaft ist es umso wichtiger, dass die deutsche Gesellschaft und Politik durch das Kopernikus-Projekt Ariadne wissenschaftlich bei der Gestaltung der deutschen Energiewende und Klimapolitik beraten wurde. Auch für die Debatte in der Zivilgesellschaft sind die Ergebnisse wichtige Bezugspunkte. Zentrale Erkenntnisse sind aus meiner Sicht:

- **Bürgerbeteiligung als zentraler Erfolgsfaktor:** Die Energiewende kann nur gelingen, wenn sie durch breite gesellschaftliche Akzeptanz getragen wird. Ariadne hat gezeigt, dass transparente Kommunikation und Bürgerdialoge entscheidend sind, um politische Maßnahmen tragfähig zu machen
- **Analyse von Investitionsbedarfen:** Für die Debatte um notwendige Investitionen sowie regionale Wertschöpfung sehr relevant ist der Szenarienreport des Projekts zu den notwendigen Investitionen in allen Sektoren (Energie, Verkehr, Gebäude, Industrie) bis zum Zieljahr der Klimaneutralität.
- **Energiemarktdesign und Governance:** Für eine aufgeregte Debatte um das zukünftige Energiemarktdesign, das Dekarbonisierung vorantreiben und Versorgungssicherheit gewährleisten soll, gab es wichtige Impulse; gut, dass dabei auch Fragen der politischen Steuerung und Regulierung betrachtet wurden.
- **Integrative Perspektive:** Das Projekt beleuchtete die viel zu oft eindimensional betrachtete Transformation in vier Dimensionen – technisch, ökonomisch, ökologisch und sozial. Es analysierte das Ineinandergreifen dieser Dimensionen.
- **Kritische Bewertung von ausbleibenden Klimaschutzmaßnahmen:** Das Projekt zeigte auf, dass ohne gut designte, gezielte und zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen Doppelbelastungen durch hohe Kosten für Klimafolgen und eine ineffiziente Klimapolitik drohen.

Es ist zu hoffen, dass die wissenschaftsbasierte Politikberatung weiter an Relevanz gewinnt."

- Christoph Bals, Geschäftsführender Vorstand Politik, Germanwatch

INHALT

1. Einleitung 1

2. Die Grand Challenges der Energiewende 7

3. Der Ariadne-Lernprozess 15

4. Übersicht der Forschung der Ariadne-Arbeitspakete 19

Arbeitspaket 1: Szenarienforum Klimaneutralität 20

Arbeitspaket 2: Verteilungsfragen und gesellschaftliche Trägerschaf 24

Arbeitspaket 3: EU: Energiesicherheit, Klimaneutralität und (De-)Globalisierung 29

Arbeitspaket 4.1 & 4.3: Governance im Mehrebenensystem 34

Arbeitspaket 4.2: Internationale Governance 39

Arbeitspaket 5: Strom- und Energiemarktdesign auf dem Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem 43

Arbeitspaket 6: Industriewende, Wasserstoffstrategie und vulnerable Wertschöpfungsketten 47

Arbeitspaket 7: Verkehrswende 51

Arbeitspaket 8: Wärmewende sowie Wärme- & Wohnen-Panel 56

1. EINLEITUNG

In der griechischen Mythologie reichte die Königstochter Ariadne dem Helden Theseus einen Faden, der es ihm ermöglichte, einen Ausweg aus einem Labyrinth zu finden. Das Kopernikus-Projekt Ariadne folgte diesem Bild: Als Kartograph der Energiewende arbeitete es daran, gangbare Wege zur Erreichung der Klimaneutralität aufzuzeigen. Mehr als sechs Jahre forschten 26 Forschungsinstitute, gefördert durch das Ministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, an der deutschen und europäischen Energiewende. Es entstand eine Vielzahl an Publikationen zu (sektoralen) Transformationspfaden, der Ausgestaltung von Politikinstrumenten und systemischen Wechselwirkungen. Dabei konnte das Projekt mit seinen wissenschaftlichen Erkenntnissen und angestoßenen Debatten vielbeachtete Beiträge zur Klima- und Energiepolitik der vergangenen Jahre leisten.

Doch das Energiewende-Labyrinth ist nicht statisch: Geopolitische Verwerfungen, globale Krisen wie die Corona-Pandemie und gesellschaftliche Polarisierung haben die politische Priorisierung und Gestaltung der Klimapolitik sowie die gesellschaftlichen Ansprüche an sie über die Laufzeit des Projekts stark verändert. Gleichzeitig ergeben sich durch technologischen Fortschritt neue Möglichkeiten zur Umsetzung der Energiewende. Dabei konnte Ariadne gerade deshalb relevante Ergebnisse für Entscheidungstragende liefern, weil es gelang, die Forschungsagenda fortlaufend an die sich stetig verändernde Struktur des Energiewende-Labyrinths anzupassen und aktuelle Fragestellungen aufzugreifen.

Zwischen Klimaeuphorie und Krisen – der Kontext der Klimapolitik 2020-2026

Ein Rückblick zeigt, dass der **Beginn des Ariadne-Projekts 2020** in eine Zeit ungewöhnlich hoher gesellschaftlicher Aufmerksamkeit für den Klimaschutz fiel: Nach dem Pariser Klimaabkommen (UNFCCC, 2015) und dem Aufstieg der Fridays-for-Future-Bewegung verband der European Green Deal, vorgestellt im Dezember 2019, das Thema Klimaschutz



erstmals programmatisch mit Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit (Europäische Kommission, 2019).

Der Projektauftakt wurde zudem von der Corona-Pandemie geprägt, die im Jahr 2020 zu einem kurzfristigen und außerordentlichen Emissionsrückgang führte. Unter diesem Eindruck sowie nach dem Klimabeschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 24. März 2021 – der feststellte, dass unzureichender Klimaschutz die Freiheitsrechte künftiger Generationen gefährdete – wurde das Zieldatum für die Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland per Gesetzesnovelle von 2050 auf 2045 vorgezogen (Bundesverfassungsgericht, 2021). Eine entsprechende Hinterlegung des Ziels mit adäquaten Maßnahmen blieb jedoch aus, wie der Expertenrat für Klimafragen (ERK) in seinem Zweijahresgutachten im darauffolgenden Jahr feststellte und eine Verfehlung des Zwischenziels bis 2030 prognostizierte (ERK, 2022).

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Pandemie, darunter erhöhte Inflation und nachhaltig gestörte Lieferketten mit Folgen auch für die Energiewende und ihre Technologien, wurden durch den völkerrechtswidrigen Angriff Russlands auf die Ukraine im Frühjahr 2022 verstärkt. Neben der Zäsur für die europäische Sicherheitsarchitektur bedeutete die plötzliche Einstellung der Lieferungen preisgünstigen russischen Erdgases einen weiteren nachhaltigen Schock für die deutsche Volkswirtschaft. Er zeigte zudem die Verwundbarkeit durch die Abhängigkeit von Importen fossiler Brennstoffe auf.

Diese zweite Krise innerhalb weniger Jahre wirkte sich insbesondere auf die Energiepreise aus. Strukturelle Herausforderungen des Standort Deutschlands wie hohe Lohnstückkosten und Produktivitätsverluste sowie ein sich verschärfendes internationales Wettbewerbsumfeld mit insbesondere China und den USA führten im Zusammenspiel mit erhöhten Energiepreisen zu einer Phase anhaltender wirtschaftlicher Schwäche. Die politische Agenda wurde zunehmend von Diskussionen um die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, europäischer Souveränität, Energiesicherheit und Verteidigungsfähigkeit geprägt. Zwar konnten in dieser Zeit einige klimapolitische Maßnahmen, etwa die Rechtsakte des Green Deals oder das Osterpaket der Ampelregierung zur Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien, beschlossen werden. Zeitgleich wurden im öffentlichen Diskurs die für die Transformation notwendigen Investitionen zunehmend als weitere Belastung für den Standort Deutschland diskutiert.

Ariadnes zweite Projektphase startete im Jahr 2023 demzufolge unter stark veränderten Vorzeichen. Neben den wirtschaftlichen und geopolitischen Aspekten hatte sich auch die gesellschaftliche Stimmung gegenüber der Klimapolitik verändert. Durch zunehmende Polarisierung und den Aufstieg rechtspopulistischer Parteien in Europa geriet die Klimapolitik in das Zentrum des Kulturkampfes. Einen vorläufigen Höhepunkt erreichte diese Polarisierung insbesondere in den Diskussionen um das Gebäudeenergiegesetz der Ampelregierung (Haas et al., 2025; Loschke et al., 2026).

Für einen erneuten gravierenden Einschnitt, weit über die Klimapolitik hinaus, sorgte das Bundesverfassungsgericht im November 2023 mit der Entscheidung, die Umwidmung von 60 Milliarden Euro aus den Coronafonds für den Klima- und Transformationsfonds für verfassungswidrig zu erklären (Bundesverfassungsgericht, 2023). Das Urteil stellte die Finanzierung der Klimapolitik der kommenden Jahre infrage. Die schwierigen Haushaltsverhandlungen der Ampelregierung führten schließlich zum Koalitionsbruch im November 2024.

Die zeitgleiche Wiederwahl von Donald Trump zum 47. US-amerikanischen Präsidenten und die Auswirkungen auf den globalen Handel durch eine erratische Zollpolitik sowie eine expansionistische und gleichzeitig strategisch abschirmende und industriepolitisch steuernde Handelspolitik Chinas haben seitdem die wirtschaftliche Lage Deutschlands und Europas verschärft. Insbesondere die energieintensiven Industrien in Deutschland haben an internationaler Wettbewerbsfähigkeit verloren und in einigen Branchen die privatwirtschaftlichen Spielräume für Investitionen stark begrenzt. Die für Investitionen verfügbaren fiskalischen Mittel stehen in starker Konkurrenz mit anderen Politikfeldern. In der schwarz-roten Bundesregierung wurde seit ihrem Amtsantritt im Frühjahr 2025 die Kosteneffizienz das handlungsleitende Prinzip in der Energiewende. Aktuelle Gesetzentwürfen zum weiteren Ausbau der Stromnetze und der Erneuerbaren Energien tragen diesem Prinzip Rechnung, werden aber für ihre potenziell bremsende Wirkung auf die Transformation kontrovers diskutiert.

Dabei zeigten sich mit dem Nahostkonflikt einmal mehr die Konsequenzen einer Energieversorgung, die immer noch zu einem großen Teil von fossilen Importen abhängt. Erneute Preisausschläge bei fossilen Kraftstoffen trafen die deutsche Industrie sowie Verbrauchende gleichermaßen und führten abermals zu immensen wirtschaftlichen Verlusten und kostspieligen Kompensationen durch die



Politik. Diese jüngsten Ereignisse zeigen erneut auf, dass eine Transformation zu einem klimaneutralen Gesamtsystem die Souveränität Europas stärken kann. Die Europäische Kommission reagierte in der Folge mit einer expliziten Elektrifizierungsagenda (Europäische Kommission, 2026).

Die jüngsten Hitzewellen mit ihren Folgen von Dürren, Waldbränden und Niedrigwasser in Binnengewässern im Sommer 2026 und die daraus resultierende Diskussion um Klimaanpassungsmaßnahmen machen deutlich, dass die voranschreitende Erderwärmung bereits heute immense gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Kosten hat. Umso mehr in Europa, das sich etwa doppelt so schnell erwärmt wie der Rest der Welt (ESABCC, 2026). Nach dem Konzept der sogenannten Social Costs of Carbon kann nach heutigem Wissensstand davon ausgegangen werden, dass jede weitere ausgestoßene Tonne CO_2 in 2025 einen Gegenwartswert von €226 als Kosten für globale Klimaschäden zur Folge hat (US EPA, 2023). Trotz des steigenden Handlungsdrucks, geht der Expertenrat für Klimafragen davon aus, dass Deutschland seine Klimaziele für 2030 und 2045 mit den aktuell bestehenden Maßnahmen verfehlen wird (ERK, 2026).

Die Notwendigkeit einer ehrgeizigen Klimapolitik bleibt also bestehen: aus wirtschaftlichen, sicherheits- und energiepolitischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Gründen. Eine erfolgreiche Ausgestaltung einer zukunftsfähigen Klima- und Energiepolitik wird sich daran entscheiden, wie die oben skizzierten Herausforderungen berücksichtigt und miteinander in Einklang gebracht werden können. Der dazu nötige gesellschaftliche Aushandlungsprozess wird auch auf die Erkenntnisse der Wissenschaft angewiesen sein.

Welchen Beitrag konnte Ariadne zu den energiepolitischen Debatten leisten?

Dem Kopernikus-Projekt Ariadne gelang es, über die sechsjährige Laufzeit und im konstruktiven Austausch innerhalb des Konsortiums, aber auch mit den anderen Kopernikus-Projekten[1], fortlaufende Beiträge zu den aktuellen energiepolitischen Debatten zu leisten und diese an die aktuellen Umstände anzupassen. Aus der großen Zahl von Ariadne-Produkten seien hier beispielhaft genannt:

Die instituts- und modellübergreifenden Szenarienarbeiten leisteten wichtige Beiträge zum Verständnis der Transformation zur Klimaneutralität 2045. Sie griffen dabei aktuelle energiepolitische Herausforderungen auf. Dazu zählten beispielsweise die Integration von Energiesicherheit und Klimaschutz im Lichte der Gaskrise im Jahr 2022 oder die Notwendigkeit für verbesserte Kosteneffizienz beim Klimaschutz.

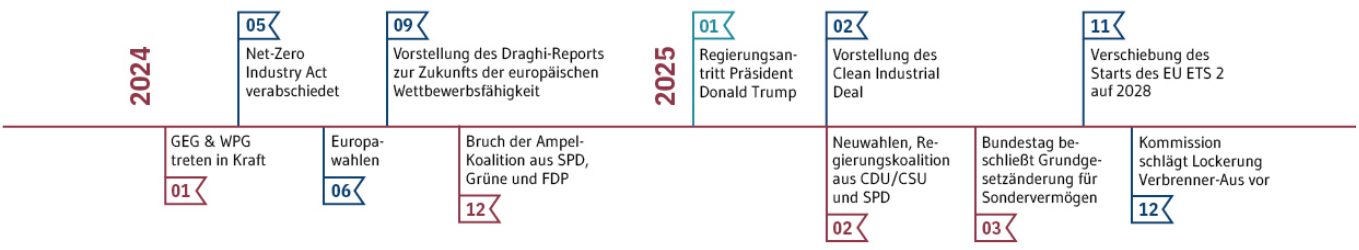
- Report. Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. 2021.
- Report: Deutschland auf dem Weg aus der Gaskrise – Wie sich Klimaschutz und Energiesouveränität vereinen lassen. 2022.
- Report: Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. 2025.

Für eine voranschreitende Elektrifizierung, konnte der Ausbau der erneuerbaren Erzeugungskapazität und der Stromnetze mit wissenschaftlichen Beiträgen unterstützt werden, ebenso wie die Weiterentwicklung des Strommarktdesigns für die Bereitstellung von nötiger Flexibilität im System.

- Kurzdossier: Kernelemente des Strommarktdesigns – Anforderungen, Ziele, Bewertungskriterien und Handlungsoptionen.2024.
- Report: Auswirkungen einer Anpassung der Ausbauziele für Erneuerbare Energie für das Jahr 2030.2025.
- Analyse: Gebotszonenteilung im Strommarkt – Anreize zur netzdienlichen Flexibilität. Fallstudie 2024.2026.
- Hintergrund: Wie teilt man eine Stromgebotszone?2026.

Mit Blick auf den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur, konnten in Ariadne-Publikationen auch breitere strategische Fragen angesprochen werden. So wurde beispielsweise die Möglichkeit, grüne Vorprodukte zu importieren, auf ihre Effekte auf die heimische Wertschöpfung untersucht. Ebenso wurden Beiträge zum Aufbau einer adäquaten Infrastruktur und zu möglichen Import-Strategien erarbeitet.

- Kurzdossier: Durchstarten trotz Unsicherheiten – Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie.2021.
- Analyse: Wasserstoffimportsicherheit für Deutschland: Zeitliche Entwicklung, Risiken und Strategien auf dem Weg zur Klimaneutralität. 2021.
- Report: Transformation der energieintensiven Industrie – Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe.2024.
- Analyse: Verteilnetze für den Wasserstoffhochlauf. Stand, Perspektiven



1 Ariadne stand über verschiedene Formate der Zusammenarbeit im Austausch mit den anderen Kopernikus-Projekten ENSURE, SynErgie und P2X.

und strategische Herausforderungen. 2026.

Die Entwicklung von interaktiven Web-Tools machten den Stand der sektoralen Transformation konkret sichtbar und für nicht-wissenschaftliche Akteure zugänglich.

- Ariadne Deutschlandticket Tracker
- Ariadne Transformationtracker

Die Ausgestaltung von wirksamen Politikmixen, ihre Verteilungsaspekten und ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz standen im Zentrum vieler Arbeiten in Ariadne. Öffentliche Debatten, wie die um das Gebäude-Energiegesetz, konnten konnten aufgegriffen und mit wissenschaftlichen Beiträgen bereichert werden.

- Report: Zwischen Kosteneffizienz und Verteilungskonflikten: Leitkonzepte für zielkonforme und gesellschaftlich tragfähige Klimapolitik. 2026.
- Report: Wärmewende jetzt – Impulse aus der Wissenschaft.2025.
- Ariadne kompakt: Klimaschutz und sozialer Ausgleich durch Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung.2023.
- Kurzdossier: Neue Strategien für Legitimität und Akzeptanz von Klimapolitik.2023.

Neben der systemischen Transformation und der Instrumentierung standen auch Governance-Fragen im Zentrum der Forschung. Die Weiterentwicklung der internationalen Klimadiplomatie vor dem Hintergrund geopolitischer Dynamiken, sowie die Zusammenarbeit im Mehrebenensystem der Bundesrepublik waren Gegenstand der Forschung.

- Kurzdossier: Die Handlungsfähigkeit des deutschen Staates in der Klima- und Energiepolitikanalyse.2025.
- Handlungsoptionen in der deutschen Klimaaußenpolitik.2026.
- Analyse: Deutschlands Klimaaußenpolitik: Kontext – Rückschau – Weiterentwicklung.2024.

Das Arbeitspaket Europa und Green Deal konnte eine Brücke in die europäische klima- und energiepolitische Debatte schlagen und Beiträge erarbeiten, die die Diskussion um die europäische Klima-Architektur nach 2040 und insbesondere die Weiterentwicklung des Emissionshandels, geprägt haben. Insbesondere zum Hochlauf und der Integration von Kohlenstoffdioxid-Entnahme konnten relevante Debattenbeiträge erarbeitet werden.

- Kurzdossier: Ein Sicherheitsventil für die Endphase des EU-Emissionshandelssystems – Preisstabilisierung durch die Entfernung von Kohlendioxid – Zusammenfassung.2026.
- Hintergrund: Kurs halten in turbulenten Zeiten – Einblicke in den aktuellen Stand und die Zukunftsperspektiven der EU-Klima-, Energie- und Finanzpolitik – Zusammenfassung.2025.

Im vierten Abschnitt dieses Reports werden die Beiträge der Arbeitspakete ausführlicher dargestellt und gleichzeitig offene Forschungsfragen adressiert. Ein Gesamtüberblick der Publikationen ist auf der Ariadne-Website verfügbar.

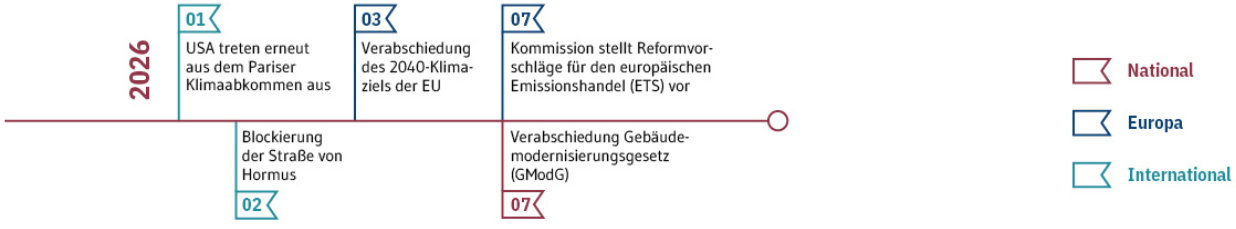
Die Grand Challenges der Energiewende

Auf Grundlage der zahlreichen Publikationen und einem abschließenden Reflektionsprozess hat das Ariadne-Konsortium in den vergangenen Monaten die neun „Grand Challenges der Energiewende" entwickelt. Es sind die aus den Projektarbeiten hervorgegangenen zentralen Herausforderungen, die auf dem Weg zur Klimaneutralität gelöst werden müssen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit, spitzen die Grand Challenges bewusst auf ausgewählte, im Projekt identifizierte und diskutierte Druckpunkte zu, die für eine erfolgreiche Ausgestaltung der klima- und energiepolitischen Maßnahmen in Zukunft adressiert werden müssen.

Identifiziert wurden sechs systemisch-sektorale sowie drei regulatorische und gesellschaftliche Themenfelder, die eine weitere Grundlage für wissenschaftliche Arbeiten, aber auch öffentliche Diskussionen bieten sollen (siehe Kapitel 2).

1. Erneuerbare Energien und Elektrifizierung: Smarte Flexibilisierung des Stromsystems
2. Das Rückgrat: Eine sektorübergreifende Infrastruktur für ein klimaneutrales Energiesystem
3. Bezahlbare Wärmewende: Investitionen in eine erneuerbare Wärmeversorgung und gerechte Kostenverteilung
4. Klimaneutrale Mobilität: Elektrifizierung des Straßenverkehrs und Innovationskraft im Automobilsektor
5. Wettbewerbsfähige Industrie: Grüne Innovationen, Elektrifizierung und smarter Strukturwandel
6. Integration von Kohlenstoff-Management, Bioökonomie und Wasserstoffstrategie
7. Weiterentwicklung des EU-Emissionshandel als Leitinstrument der europäischen Klimapolitik
8. Klimaschutz & Geopolitik: Strategische Kooperationen und Flexibilisierung durch internationale Zertifikate
9. Gesellschaftliche Trägerschaft und Umgang mit Verteilungswirkung von Klimapolitik

Die *Grand Challenges* stehen dabei nicht für sich. Sie sind hervorgegangen aus



der spezifischen, deliberativen Arbeitsweise von Ariadne. Durch den stetigen, strukturierten Wissensaustausch mit Entscheidungstragenden, Stakeholdern sowie im direkten Austausch mit Bürgerinnen und Bürgern konnten die Forschungsfragen in den vergangenen sechs Jahren weiterentwickelt und somit aktuelle Erkenntnisse aufgegriffen werden. Eine detaillierte Beschreibung des Ariadne Lernprozesses finden Sie in Kapitel 3.

Im letzten Abschnitt dieses Berichts reflektieren die Ariadne-Forschenden ihre jeweiligen Forschungsagenden und Kernergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen, stellen den derzeitigen Stand der Entwicklungen vor und werfen weitere Forschungsfragen auf, die in folgenden Forschungsarbeiten adressiert werden sollten.

Literaturangaben

Bundesverfassungsgericht (2021): Beschluss vom 24. März 2021, 1 BvR 2656/18 u.a. https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2021/03/rs20210324_1bvr265618.html

Expertenrat für Klimafragen (2022): Zweijahresgutachten 2022. Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsmengen und Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). https://www.expertenrat-klima.de

Expertenrat für Klimafragen (2026): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2025 und zu den Projektionsdaten 2026. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten sowie der Projektionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Online verfügbar unter: https://www.expertenrat-klima.de

European Scientific Advisory Board on Climate Change (2026): Strengthening resilience to climate change - Recommendations for an effective EU adaptation policy framework. https://www.google.com/url?q=https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/strengthening-resilience-to-climate-change-recommendations-for-an-effective-eu-adaptation-policy-framework&sa=D&source=docs&ust=1787743077471184&usg=AOvVaw13ZHyyfN6fvM5hDrJXV691

Europäische Kommission (2026): Electrification Action Plan. SWD (2026) 596 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52026DC0595

Europäische Kommission (2019): The European Green Deal. COM (2019) 640 final. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

Haas, T., Sander, H., Fünfgeld, A., Mey, F. (2025): Climate obstruction at work: Right-wing populism and the German heating law. https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104034.

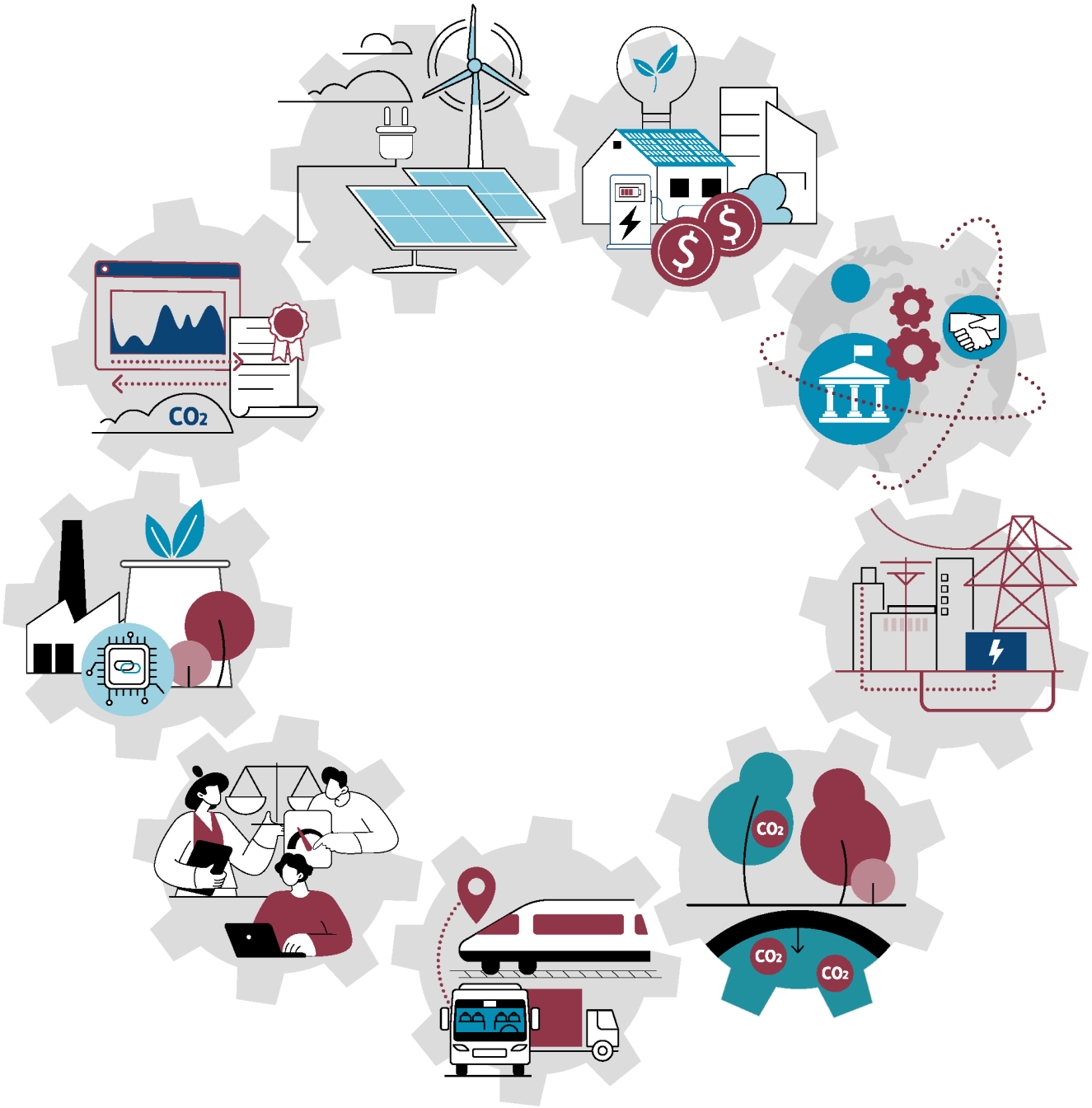
Loschke, C., Braungardt, S., Keimeyer, F., Rosenow, J. (2026): Heating up the headlines: How tabloid framing reshaped Germany's Buildings Energy. https://doi.org/10.1016/j.erss.2026.104832.

Umweltbundesamt (2026): Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen. https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltzustand-trends/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#gesamtwirtschaftliche-bedeutung-der-umweltkosten

UNFCCC (2015): Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/english_paris_agreement.pdf

US EPA (2023): Report on the social cost of Greenhouse gases: Estimates incorportating recent scientific advances.

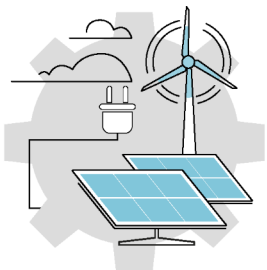
2. DIE GRAND CHALLENGES DER ENERGIEWENDE



Grafik: Die Grand Challenges der Energiewende

Das Erreichen der deutschen und europäischen Klimaziele erfordert tiefgreifende technische, ökonomische und gesellschaftliche Veränderungen. Der Beschluss ambitionierter Klimaziele garantiert dabei noch keinen Erfolg. Stattdessen braucht es konkrete Maßnahmen, die auf die Herausforderungen auf dem Weg hin zur Klimaneutralität zugeschnitten sowie politisch umsetzbar sind und gesellschaftlich mitgetragen werden. Zugleich ist die Transformation von zunehmender Komplexität, nichtlinearen Wechselwirkunge zwischen verschiedenen Politikfeldern und einer zeitlichen Diskrepanz zwischen heute anfallenden Kosten und deren zukünftigem Nutzen durch vermiedene Klimaschäden geprägt. Für die Politik bedeutet dies, Entscheidungen treffen zu müssen, deren AuswirkungeDie Grand Challenges beschreiben Kernherausforderungen für das Erreichen der Klimaneutralität, die das Kopernikus-Projekt Ariadne auf Basis seiner Forschung in den vergangenen sechs Jahren identifiziert hat. Die Priorisierung und Zuspitzung der Kernherausforderungen sind auf Basis der umfangreichen und vielfältigen Ariadne-Forschung zusammengestellt, erheben aber keinen Anspruch auf ein vollständiges Bild für eine erfolgreiche Transformation und die nötigen Maßnahmen. Die Zusammenfassung aus sechs Jahren Energiewendeforschung haben sechs systemische sowie drei politisch-regulatorisch-gesellschaftliche Herausforderungen ergeben. Die Forschung kann zentrale Beiträge zur Überwindung der Grand Challenges leisten – entsprechend wird jede Challenge durch die aus Sicht des Kopernikus-Projekts Ariadne besonders relevante Forschungsbedarfe ergänzt.

1. Erneuerbare Energien und Elektrifizierung: Smarte Flexibilisierung des Stromsystems

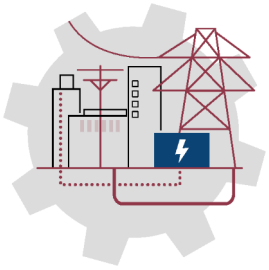


Ein klimaneutrales Energiesystem basiert maßgeblich auf dem Energieträger Strom. Dadurch geht mit dem Ziel einer Senkung der Treibhausgasemissionen eine massive Elektrifizierung vieler Anwendungen in den Verbrauchssektoren einher, von der Mobilität bis zur Industrie. Das Stromsystem war lange Zeit von großen verbrauchsnahen Kraftwerken mit einer gleichmäßigen Erzeugung geprägt. Mit der Energiewende steht es vor der Herausforderung, eine volatilere Einspeisung von kleineren, dezentralen und teils räumlich entfernten Erneuerbare Energien (EE)-Erzeugungsanlagen aufzunehmen. Die intelligente **Integration der schnell ansteigenden Stromerzeugung** aus Erneuerbaren ist dabei Dreh- und Angelpunkt einer kosteneffizienten klimaneutralen Energieversorgung.

Während ein weiterer massiver Ausbau der Erneuerbaren Energien zur Deckung steigender Strombedarfe benötigt wird, bedarf es für ein versorgungssicheres, effizientes und klimaneutrales Stromsystem auch einer Beschleunigung in der Integration von **Flexibilität** durch Energiespeicher, Lastmanagement und Back-up-Kraftwerke für Markt und Netz. Derzeit unterminieren das bestehende Strommarktdesign und die Netzentgeltsystematik effektive Anreize für Flexibilität und Systemdienlichkeit, der Smart-Meter-Rollout kommt zu langsam voran. Es gilt, die vorhandene und zukünftige flexible Nachfrage, zum Beispiel in der industriellen Produktion, beim Laden von E-Autos, der Wärmeversorgung oder durch Power-to-X-(PtX)-Anlagen, systemdienlich nutzbar zu machen. Voraussetzungen sind ein **zukunftsfestes Marktdesign**, das Anreize setzt, um die zügige **Digitalisierung** des Energiesystems und eine systemdienliche, integrierte Steuerung aller Elemente möglich zu machen.

Weiterer Forschungsbedarf: Welches Marktdesign ist am besten geeignet, um Investitionen in Flexibilität anzureizen, räumlich zu differenzieren sowie deren systemdienlichen Betrieb sicherzustellen? Welche Chancen und Risiken haben "Second-Best"-Lösungen, die politisch umsetzbar und langfristig gesellschaftlich tragfähig sind? Wie können Bedarfe für EE-Kapazitäten, (saisonale) Speicher, Back-up-Kraftwerke und Netzausbau angereizt und effizient abgestimmt sowie adaptiv geplant werden? Wie erhöhen wir die Energiesicherheit und steigern die Resilienz des Energiesystems und von Verbrauchenden gegenüber fossilen Preisschocks? Wie können wir Resilienz quantifizieren, in den Modellen besser abbilden und so den Trade-off zwischen Kosten und höherer Resilienz bewerten?

2. Das Rückgrat: Eine sektorübergreifende Infrastruktur für ein klimaneutrales Energiesystem



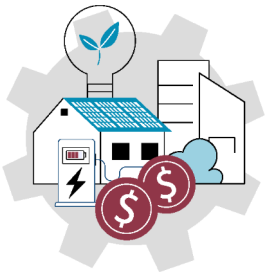
Ein zentrales Erfolgskriterium für ein kosteneffizientes, verlässliches und klimaneutrales Energiesystem ist eine **integrierte und adaptive Infrastrukturplanung für Strom, Wärme, Wasserstoff und CO_2**. Diese Infrastrukturen zeichnen sich durch lange Vorlaufzeiten und hohe Koordinationsbedarfe aus. Daher sollten Planung, Entwicklung, Genehmigung und Finanzierung des Systems an die aktuelle Transformationsdynamik ausgerichtet und übergreifend angegangen werden. Angesichts der Unsicherheiten bezüglich der Verfügbarkeiten und Nachfrageentwicklung einzelner Energieträger ist eine adaptiv angelegte Durchführung sinnvoll.

Neben dem Ausbau und der Digitalisierung der Strom- sowie Wärmenetze ist die **Infrastruktur für Wasserstoff** eine wichtige Komponente des zukünftigen Energiesystems. Der Aufbau eines deutschen Wasserstoffkernnetzes, sowie grenzüberschreitende und europäisch koordinierte Infrastrukturen und Importkorridore bedürfen einer realistischen Planung und langfristigen Finanzierung. Zentral ist hierfür vor allem eine Strategie über tatsächlich erwartbare (sektorale) Bedarfe für Wasserstoff in einem klimaneutralen Energiesystem. Ähnliche Fragestellungen bestehen mit Blick auf eine **künftige Infrastruktur für CO_2**. Auch hier gilt es zu klären, ob, in wel-

chem Umfang und wo künftig fossile Restemissionen anfallen werden oder welche CO_2-Transportbedarfe sich aus der CO_2-Entnahme ergeben (siehe Challenge 6).

Weiterer Forschungsbedarf: Welche Infrastrukturbedarfe ergeben sich in einem integrierten Gesamtsystem und welche Finanzierungs- sowie Kostenwälzungsmechanismen sind dazu geeignet? Welche Rückwirkungen gibt es zwischen dezentralen Versorgungskonzepten und dem Ausbaubedarf für Infrastruktur? Falls der Hochlauf für die Wasserstoffwirtschaft oder CO_2-Management stockt, gibt es Ausweichmöglichkeiten, zum Beispiel über Wasserstoffderivate wie Methanol oder Ammoniak?

3. Bezahlbare Wärmewende: Investitionen in eine erneuerbare Wärmeversorgung und gerechte Kostenverteilung



Die Umstellung auf eine klimafreundliche Wärmeversorgung für Gebäude ist durch den **heterogenen Gebäudebestand** und die komplizierten Investitionsentscheidungen durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Akteuren besonders herausfordernd. So werden aktuell noch etwa drei Viertel aller Gebäude mit fossilen Brennstoffen beheizt, gleichzeitig bleibt die Sanierungsrate des Gebäudebestandes hinter den Erwartungen zurück.

Aufgrund der langen Lebensdauer von Heizsystemen lassen sich technologische Lock-ins und langfristige Abhängigkeiten von fossilen Brennstoffen nur durch eine rasche und konsequente Umlenkung der Investitionen in erneuerbare Wärmeversorgungssysteme, **geprägt hauptsächlich durch Wärmepumpen und Fernwärme**, wirksam vermeiden. Die Umstellung der Wärmeversorgung ist jedoch oft mit hohen Anschaffungskosten **für einzelne Haushalte** verbunden. Notwendige Förderinstrumente sollten daher so ausgestaltet werden, dass sie Kosteneffizienz anreizen und gleichzeitig sozial gerecht sind.

Herausfordernd sind die verschiedenen Interessen der beteiligten Akteure. Das **Mieter-Vermieter-Dilemma** beschreibt den Konflikt, dass Mietende zwar die steigenden Kosten für fossile Brennstoffe und CO_2-Steuer tragen, aber keinen Einfluss auf die Wahl des Heizsystems haben. Wirksame Politikinstrumente können eine adäquate Lastenverteilung ermöglichen und Investitionsanreize setzen.

Die energetische Qualität der **Gebäudehülle** hat einen wichtigen Einfluss auf die Lebensqualität im Gebäude und die Verbrauchskosten der Nutzenden. Sie bestimmt die notwendige Leistung der Wärmeversorgung und damit auch den Umfang erforderlicher Infrastrukturen für die jeweiligen Energieträger. Sehr anspruchsvolle energetische Sanierungsstandards sind jedoch zum Teil weder kosteneffizient noch nötig für eine klimaneutrale Wärmeversorgung. Es können auch gering-investive Maßnahmen ausreichen. Dies setzt jedoch einen konsequenten Ausbau der Erneuerbaren Energien für die Energieversorgung voraus. Eine robuste Strategie für klimaneutrale Gebäude wird sowohl Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle als auch der Wärmeversorgung umfassen. Ein Fokus der Maßnahmen und Fördergelder auf die Gebäude der geringsten Effizienzklassen (Worst-Performing-Buildings) hat zudem die größte Wirkung für eine Erreichung eines klimaneutralen Gebäudesektors.

Weiterer Forschungsbedarf: Welche systemischen Auswirkungen hat eine direkte Elektrifizierung der Wärmeversorgung auf Stromnetze, Erzeugungskapazitäten sowie Flexibilitätsbedarfe und welche Rückwirkungen ergeben sich für den Infrastrukturausbau? Was sind kosten- und ressourceneffiziente Ansätze für die Umstellung der Wärmeversorgung und Sanierung von Bestandsgebäuden? Wie kann eine sozial-gerechte und möglichst zielgenaue Förderung des Heizungstauschs sowie der Sanierung aussehen? Wie sieht eine gerechte Lastenteilung zwischen Mietenden und Vermietenden aus?

4. Klimaneutrale Mobilität: Elektrifizierung des Straßenverkehrs und Innovationskraft im Automobilsektor



Derzeit dominieren Verbrennungsmotoren den Individual- und Güterverkehr, ebenso wie den Flug- und Schiffsverkehr. Der Schlüssel für eine **klimaneutrale Individualmobilität ist die Elektrifizierung**. Der Markthochlauf von elektrischen Pkw in Deutschland hat zuletzt mit der Einführung der E-Auto-Prämie, aber auch durch steigende Spritpreise und eine bessere Verfügbarkeit von günstigen elektrischen Mittelklasse-Pkw und Gebrauchtwagen, Fahrt aufgenommen. Bisher sind weniger als 5 % des deutschen Pkw-Bestands emissionsfrei. Der Hochlauf entwickelt sich entsprechend deutlich langsamer als nötig, um die erforderlichen Emissionsreduktionen zu erreichen, die durch das Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegeben sind. Zentral für den schnellen Hochlauf und die politische Verlässlichkeit der Transformation sind ein festes und ambitioniertes Ausstiegsdatum aus verbrennungsmotorischen Neuzulassungen. Flankiert werden sollte die Antriebswende bei Pkw durch den Ausbau des ÖPNV, die Bereitstellung von modernen Mobilitätsangeboten und attraktive Infrastruktur für Rad- und Fußverkehr. Ein sozial gerechter Politikmix muss zudem die strukturellen Unterschiede zwischen Stadt und Land berücksichtigen.

Auch für die Dekarbonisierung des straßengebundenen Schwerlastverkehrs ist eine direkte Elektrifizierung die kosten- und energieeffizienteste Option. Knappe **grüne Moleküle, wie grüner Wasserstoff, Methan, E-Fuels und Biokraftstoffe**, werden für die klimaneutrale Mobilität vor allem im **Schiffs- und Flugverkehr** notwendig sein, ihr Markthochlauf sollte daher auf diese Bereiche fokussiert und entschlossen vorangetrie-

ben werden.

Der Aufbau notwendiger privater und öffentlicher Ladeinfrastruktur für Pkw und Lkw hat bereits begonnen und sollte weiter politisch begleitet werden.

Nicht nur klimapolitisch ist die Antriebswende im Pkw-Segment relevant: Sie ist auch eine Chance zur Förderung von **Innovationen, um den Automobilstandort Deutschland zu stärken**. Die Forschung und Entwicklung sowie die Aufstellung resilienter Wertschöpfungsketten für zentrale Komponenten wie Batterien einschließlich "Second Use and Recycling" sollten auch politisch und finanziell vorangetrieben werden.

Weiterer Forschungsbedarf: Wie kann staatliche Unterstützung schrittweise auf einkommensschwache Bevölkerungsgruppen konzentriert werden? Wie kann die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie im globalen Wettbewerb um die Zukunftsmärkte im Bereich der Elektromobilität gestärkt werden? Wie kann eine wirksame grüne Industriepolitik für den Automobilsektor gestaltet werden? Wie kann die Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel abseits vom Pkw weiter kosteneffizient beschleunigt werden?

5. Wettbewerbsfähige Industrie: Grüne Innovationen, Elektrifizierung und smarter Strukturwandel



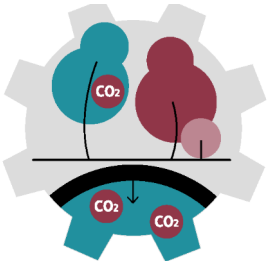
Die Transformation zu weitgehend klimaneutralen Produktionsweisen ist verbunden mit einer Verlagerung von Ausgaben für fossile Energieträger zugunsten von Investitionen in neue Technologien. Diese OpEx-CapEx Verschiebung bietet immense Chancen für neue grüne Industrien und Zukunftsmärkte. Gleichzeitig bedeutet das für die energieintensive Grundstoffindustrie eine gewaltige Herausforderung, da hier die Kosten der Emissionsvermeidung besonders hoch sind. Gebremst werden die nötigen Investitionen insbesondere durch eine vorherrschende **regulatorische Unsicherheit und höhere Preise für klimaneutrale Energieträger** im Vergleich zu fossilen Brennstoffen. Von der Klimapolitik unabhängige, tiefgreifende Verschiebungen im globalen Wettbewerb verschärfen diese Herausforderungen massiv.

Detailstudien zur Energietransformation zeigen übereinstimmend, dass eine konsequente Priorisierung der **Elektrifizierung, insbesondere bei der Prozesswärme**, wichtig für eine kosteneffiziente Transformation ist. Hemmnisse für eine Elektrifizierung bestehen in den hohen Preisen für Strom gegenüber Erdgas; Netzentgelte, die noch immer eine Bandlast belohnen und flexiblen Strombezug bestrafen; Engpässen beim Netzanschluss bzw. einer Kapazitätserweiterung einzelner Standorte.

Der Aufbau von **diversifizierten Lieferketten für energieintensive grüne (Vor-)Produkte**, die heimisch nicht wettbewerbsfähig produziert werden können, kann ein entscheidender Hebel für die industrielle Transformation sein. Seine Auswirkungen auf die Bedarfe für grüne Moleküle, wie beispielsweise Wasserstoff, und auf die dazugehörigen neuen Infrastrukturen, müssen in der Planung der Transformation berücksichtigt werden. Nichtsdestotrotz wird künftig Wasserstoff für die Grundstoffindustrie benötigt. Derzeit lahmt jedoch der Markthochlauf und stellt eine zentrale Unsicherheit für die Transformation einiger Branchen dar, die auf eine stoffliche oder energetische Nutzung von Wasserstoff angewiesen sind.

Weiterer Forschungsbedarf: Wie kann ein smarter Strukturwandel gelingen, der wesentliche Wertschöpfungsschritte in Deutschland erhält, kostengünstige EE-Potenziale in Europa und global nutzt und Resilienz schafft? Welche nachhaltigen CO_2-Quellen, Wasserstoffbedarfe und elektrifizierten Prozesse sind in Deutschland kosteneffizient und realistisch? Welche Implikationen hat das für die Ausgestaltung von Förderinstrumenten? Welche Synergien gibt es zwischen klimaneutralen Produktionsverfahren und Resilienz gegenüber Energiepreisschocks sowie Modernisierung und Digitalisierung der Industrie?

6. Integration von Kohlenstoff-Management, Bioökonomie und Wasserstoffstrategie



Nach weitgehender Elektrifizierung und dem Einsatz grüner Moleküle bestehen nach Erreichung der Klimaneutralität residuale CO_2-Emissionen aus Industrieprozessen, etwaiger restlicher fossiler Verbrennung und Emissionen anderer Treibhausgase (Methan und Lachgas) aus der Land- und Abfallwirtschaft, die technisch nicht oder nur mit sehr hohen Kosten vermeidbar und daher durch negative Emissionen auszugleichen sind. Die **Entnahme aus der Atmosphäre, Nutzung und Speicherung von CO_2** ist daher eine unerlässliche weitere Säule der Energiewende.

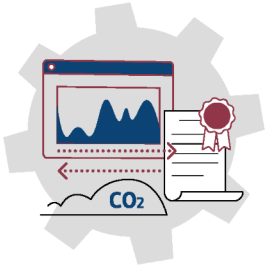
Eine **Skalierung der Entnahme, aber auch der Transport und die Weiterverwendung**, werden entscheidende Hebel für den Business Case der Transformation, insbesondere für einige energieintensive Industrien, wie die Zementherstellung, sein. Für einen Markthochlauf werden adäquate Finanzierungsmechanismen, auch durch politische Instrumente, unerlässlich.

Die integrierte Nutzung von nachhaltiger Biomasse und erneuerbarem Wasserstoff kann die **Bereitstellung grüner Moleküle** für schwer elektrifizierbare Sektoren günstiger machen. Eine **Kreislaufwirtschaft ist zentral für den Ersatz von fossilen Rohstoffen**, da sie darauf abzielt, Kohlenstoff möglichst lange in zirkulären Stoffströmen zu halten. Insbesondere im Kunststoffsektor sind bestehende lineare Systeme stark auf die Verbrennung fossiler Kohlenstoffe am Lebensende ausgerichtet. Durch materialeffizientes Design, Wiederverwendung sowie mechanisches und chemisches Recycling kann der Be-

darf an neuem fossilem Kohlenstoff reduziert werden.

Weiterer Forschungsbedarf: Wie schnell und zu welchen Kosten können verschiedene "Carbon Dioxide Removal (CDR)"-Technologien skaliert werden? Wie kann der bisher schleppende Hochlauf beschleunigt werden? Wie sehen Planung, Finanzierung und Governance einer CO_2-Infrastruktur aus? Welche CO_2-Entnahme-Technologien sind aus handels- und industriepolitischen Erwägungen für die EU von Vorteil? Welche Bedeutung hat Carbon Capture and Utilization (CCU) im Vergleich zur geologischen Speicherung sowie Recycling und höheren Kreislaufwirtschaftsstrategien? Was braucht es für eine gesellschaftliche Akzeptanz für den Aufbau einer CO_2-Infrastruktur?

7. Weiterentwicklung des EU-Emissionshandel als Leitinstrument der europäischen Klimapolitik



Das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) ist das zentrale Instrument in der europäischen Klimapolitik, das im Zusammenspiel mit anderen ordnungspolitischen Maßnahmen auch künftig die Dekarbonisierung in Europa maßgeblich prägen wird.

Zuletzt ist der ETS 1 zwischen kurzfristigen Entlastungsforderungen und langfristigen Transformationszielen unter Druck geraten. Teile von Industrie und Politik sehen im Emissionshandel einen Wettbewerbsnachteil und fordern Reformen zur Senkung regulatorischer Belastungen. Gleichzeitig haben andere Unternehmen bereits erhebliche Investitionen in die Dekarbonisierung getätigt, die durch eine strukturelle Schwächung des ETS 1 entwertet würden. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass die **Glaubwürdigkeit europäischer Klima- und Industriepolitik** beschädigt werden könnte. In diesem Spannungsfeld gilt es, das Instrument strategisch weiterzuentwickeln.

In der internen Dimension gilt es, das ETS als Leitinstrument der europäischen Klimapolitik zu stärken, indem es **sektoral erweitert und zugleich flexibler ausgestaltet wird**, um neuen Anforderungen gerecht zu werden. Eine entscheidende Stellschraube bilden dabei die Auktionseinnahmen, deren Potenzial als Hebel für private Investitionen bislang nicht ausgeschöpft wird – ihre gezielte Verwendung könnte die Transformation beschleunigen und industrielle Wettbewerbsfähigkeit sichern. In der externen Dimension muss das ETS verstärkt als Hebel zur Förderung internationaler Klimakooperationen nutzbar gemacht werden. Mit dem Grenzausgleichsmechanismus CBAM und der Verknüpfung zu Artikel 6 des Pariser Abkommens verfügt die EU über strategische Anknüpfungspunkte, um Partnerländer in **ambitionierten Klimakooperationen** einzubinden und g**lobale CO_2-Bepreisung voranzutreiben**.

So besteht die zentrale Herausforderung darin, beide Dimensionen kohärent zusammenzudenken: **Das ETS muss innenpolitisch ambitioniert genug bleiben, um Lenkungswirkung zu entfalten, und außenpolitisch so ausgestaltet werden, dass es internationale Partner einbindet.** Nur wenn diese Balance gelingt, kann der Emissionshandel seine Rolle als Kerninstrument einer glaubwürdigen und global wirksamen EU-Klimapolitik festigen.

Die Einführung des **zweiten Emissionshandelssystems (ETS 2)** für den Gebäude- und Straßenverkehrssektor im Jahr 2028 ist politisch vor allem unter einigen osteuropäischen Mitgliedsstaaten umstritten, insbesondere wegen der Verteilungswirkung auf einkommensschwache Haushalte. Ohne die Ausweitung der CO_2-Bepreisung als Leitinstrument auf weitere Sektoren ist jedoch die Erreichung der europäischen Klimaziele gefährdet, sie sollte daher (mit entsprechenden Entlastungsmechanismen für vulnerable Haushalte) entschieden vorangetrieben werden.

Weitere Forschungsbedarfe: Welche Mechanismen können die langfristige Glaubwürdigkeit des ETS gegen zyklische politische Schwächungsversuche absichern? Unter welchen Bedingungen lässt sich eine sektorale Ausweitung des ETS (etwa im Zusammenspiel mit ETS 2) mit einer flexibleren Ausgestaltung des Systems vereinbaren, ohne die Lenkungswirkung des CO_2-Preises zu schwächen? Inwiefern wirkt der CBAM in der Praxis eher als handelspolitisches Abgrenzungsinstrument oder als Katalysator für ambitionierte Klimakooperationen mit Partnerländern? Welche institutionellen und methodischen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit eine Verknüpfung des EU ETS mit Mechanismen unter Artikel 6 des Pariser Abkommens zur Stärkung globaler CO_2-Bepreisung beiträgt, ohne die Umweltintegrität des europäischen Systems zu gefährden?

8. Klimaschutz & Geopolitik: Strategische Kooperationen und Flexibilisierung durch internationale Zertifikate



Die gewohnte Weltordnung durchläuft gravierende Veränderungen: Traditionelle Wertepartnerschaften wie die der EU mit den USA stehen unter enormen Druck, der globale Handel wird durch einen nationalen Protektionismus, insbesondere in China und in den USA dominiert und territoriale Machtansprüche (Russland, China, USA) stellen die gewohnte Sicherheitslogik und ihre multilateralen Formate vor eine Zerreißprobe. Die Auswirkungen des Kriegs im Iran auf den Welthandel durch die Blockade in der Straße von Hormus spitzen die Fragmentierung von Interessen sowie die Abhängigkeiten in Teilen der Welt weiter zu.

Vor diesem Hintergrund müssen auch internationale Kooperationen im Bereich der Klimapolitik neu gestaltet werden. Es gilt (neue) **strategische Partnerschaften und Formate** zu finden, die sich an den spezifischen Eigeninteressen ausrichten und auf Gegenseitigkeit basieren. Für die

EU und Deutschland bedeutet dies einerseits eine Risikominimierung bei Abhängigkeiten (Rohstoffe) sowie andererseits ein Setzen von Anreizen für Emissionsminderungen in Drittländern.

Die Europäische Union hat in ihrem Rahmen für das 90-%-Emissionsreduktionsziel bis 2040 eine **Anrechnung von bis zu 5 % Emissionsminderungen im Ausland** aufgenommen. Auch der Artikel 6 des Pariser Klimaabkommens schafft eine rechtliche Grundlage für die Nutzung internationaler Zertifikate. In vormaligen ähnlichen Mechanismen, wie dem Clean Development Mechanism, hat die Anrechenbarkeit von projektbasierten Zertifikaten aus Drittstaaten zu keinen glaubhaften Emissionsminderungen, aber hohen Schäden für die Glaubwürdigkeit solcher Regelungen geführt.

Es gilt daher Mechanismen zu schaffen, die internationale Kooperationen für Klimaschutz anreizen und zu tatsächlichen Emissionsminderungen führen, diese in die Governance der EU-Klimapolitik überführen und gleichzeitig die Glaubwürdigkeit der heimischen Klimaschutzbemühungen nicht unterminieren.

Weitere Forschungsbedarfe: Welche Institutionen, Mechanismen und Verfahren braucht es für extraterritoriale Emissionsminderungen, die mit dem Paris-Abkommen und dem EU-Recht kompatibel sind? In welchem Umfang sollte Flexibilisierung geschehen und wie kann internationale Flexibilisierung als "Hedging" gegen ein Scheitern internationaler Klimaschutzbemühungen eingesetzt werden? Wie kann die EU Klimapolitik sowie die internationalen Klimafinanzierungsmechanismen stärker anhand europäischer Interessen ausgerichtet werden (Reduktion von Importkosten und Importabhängigkeit, sicherheitspolitische Überlegungen)? Wie kann die EU das Ambitionsniveau anderer Staaten anheben (etwa durch Weiterentwicklung des CBAM, Flugsteuer-Clubs o.ä. Mechanismen)?

9. Gesellschaftliche Trägerschaft und Umgang mit Verteilungswirkung von Klimapolitik



Klimaschutzambitionen können nur mit einer breiten gesellschaftlichen Unterstützung langfristig erfolgreich umgesetzt werden.Umfragen bestätigen regelmäßig, dass in der Bevölkerung weiterhin eine grundsätzliche Zustimmung zu Klimaschutz und Energiewende besteht, jedoch andere politische Herausforderungen wie Migration, wirtschaftliche Entwicklung und soziale Sicherheit zuletzt an Priorität gewonnen haben. Gleichzeitig werden konkrete klimapolitische Maßnahmen zunehmend kontrovers bewertet: Insbesondere Kostenbelastungen, ungleiche Verteilungswirkungen und wahrgenommene Einschränkungen individueller Freiheiten tragen zu Akzeptanzproblemen bei, teilweise verstärkt durch populistische Akteure.

Die **langfristige Tragfähigkeit von Klimapolitik** hängt daher wesentlich davon ab, ob sie als wirksam, sozial gerecht und gesellschaftlich zumutbar wahrgenommen wird.

Essentiell dafür sind politische Maßnahmen, die die verschiedenen Ausgangspositionen einzelner Personen und gesellschaftlicher Gruppen berücksichtigen. Es müssen möglichst effiziente Mechanismen dafür gefunden werden, um für alle einen Umstieg auf klimafreundliche Technologien zu ermöglichen und fossile Lock-Ins zu vermeiden.

Mit der Einführung eines zweiten Emissionshandelssystems (ETS 2) für Gebäude und Straßenverkehr rückt die **Verteilungswirkung preislicher Anreizsysteme** in den Fokus, da sie einkommensschwache Haushalte überproportional belasten kann. Zu einem Instrumentenmix, der die Kosten und Verantwortlichkeiten gerecht verteilt, gehören unter anderem sozial differenzierte Förderprogramme sowie zielgerichtet eingesetztes Ordnungsrecht. Innovative Ansätze wie handelbare Standards oder eine Investitionsabgabe auf fossile Neuanschaffungen können finanzielle Anreize setzen, ohne eine gesellschaftliche Schieflage durch ungleiche Kostenbelastungen zu riskieren.

Ebenso entscheidend ist eine **transparente und bürgernahe Kommunikation**, die Verlässlichkeit und politische Glaubwürdigkeit zu grundlegenden Richtungsentscheidungen über Legislaturperioden hinweg sicherstellt und zugleich den konkreten Nutzen klimapolitischer Maßnahmen verdeutlicht. Vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Polarisierung und einer angespannten geopolitischen Lage sollten darüber hinaus lokale und individuelle Co-Benefits der Klimapolitik stärker in den Mittelpunkt der öffentlichen Kommunikation rücken. Eine Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass Klimapolitik tatsächlich so ausgestaltet wird, dass diese zusätzlichen gesellschaftlichen Nutzenwirkungen sichtbar entstehen.

Weiterer Forschungsbedarf: Wie sichern wir langfristig die gesellschaftliche Akzeptanz für die Transformation und aktivieren gesellschaftliche Potenziale? Wie können Förderprogramme unbürokratischer und dennoch sozial differenzierter gestaltet werden? Wie stellen wir sicher, dass Mitnahmeeffekte von Förderprogrammen begrenzt bleiben? Wie kann die europäische Lastenteilung (auch zur Finanzierung der Transition) flexibler und wirkungsvoller gestaltet werden? Und wie gelingt es, Perspektiven der Bürgerinnen und Bürger ausreichend Raum im Entscheidungsprozess zu bieten?

Grafik: Ariadne-Transformation Tracker



Ariadne-Tool: Wo stehen wir in der Energiewende

Um 2045 klimaneutral zu sein, muss das deutsche Energiesystem in einem nie dagewesenen Tempo umgebaut werden. Im interaktiven Ariadne Transformation Tracker, wird der Fortschritt der Energiewende anschaulich und verständlich gemacht: Der Tracker nimmt vielfältige Indikatoren für den Fortschritt der Energiewende (z.B. die Anzahl von E-Autos oder den Anteil Erneuerbarer im Strommix) in den Blick und vergleicht Ist-Daten mit Zielpfaden aus den Ariadne-Szenarien. Unten aufgeführt ist eine Übersicht zu den gesamtsystemischen als auch sektoralen Fortschritten entlang verschiedener Kategorien. Weitere Informationen zu den Bewertungen und den einzelnen Indikatoren finden Sie auf der Website des Ariadne Transformation Trackers.

3. DER ARIADNE-LERNPROZESS

Autorinnen und Autoren: *Lukas Hoff (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Katja Treichel-Grass (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)*

Das Erreichen der deutschen und europäischen Klimaziele erfordert tiefgreifende technische, ökonomische und gesellschaftliche Veränderungen. Der Beschluss ambitionierter Klimaziele garantiert dabei noch keinen Erfolg. Stattdessen braucht es konkrete Maßnahmen, die auf die Herausforderungen auf dem Weg hin zur Klimaneutralität zugeschnitten sowie politisch umsetzbar sind und gesellschaftlich mitgetragen werden. Zugleich ist die Transformation von zunehmender Komplexität, nichtlinearen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Politikfeldern und einer zeitlichen Diskrepanz zwischen heute anfallenden Kosten und deren zukünftigem Nutzen durch vermiedene Klimaschäden geprägt. Für die Politik bedeutet dies, Entscheidungen treffen zu müssen, deren Auswirkungen erst langfristig sichtbar werden und häufig nicht auf einen engen Politikbereich beschränkt sind (Epp und Treichel-Grass i.E.).

An diesem Punkt setzte das Kopernikus-Projekt Ariadne an und zeigte Wege durch die komplexen Fragen der Energiewende auf. Im Projekt wurden dabei nicht nur systemische und sektorale Wirkungen und Wechselwirkungen erforscht, sondern auch mögliche Politikinstrumente, die dazu beitragen, die Klimaziele wirksam und sozial verträglich zu erreichen. Darüber hinaus wurde untersucht, welche institutionellen Arrangements und Governance-Strukturen notwendig sind, um dauerhafte Handlungsfähigkeit zu gewährleisten und gleichzeitig wirksamen Klimaschutz umzusetzen.

Ariadne verfolgte in der wissenschaftlichen Politikberatung einen dialogorientierten Ansatz. Anstelle eines linearen Verständnisses von Politikberatung, bei dem wissenschaftliche Expertise an politische Entscheidungstragende unidirektional vermittelt wird, zielte der Forschungsverbund auf einen iterativen Austausch zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Ausgangspunkt war die Annahme, dass tragfähige Strategien für die Energiewende durch die systematische Verknüpfung wissenschaftlicher Erkenntnisse mit politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Perspektiven verbessert werden können.
Ziel war es, Orientierungswissen für politische Entscheidungstragende bereitzustellen, die ihre Entscheidungen in einem komplexen Abwägungsraum zwischen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Zielkonflikten treffen. Hierzu wurden politische Handlungsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene kontinuierlich analysiert und gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft diskutiert. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen fortlaufend in den Forschungsprozess zurück. Leitend war dabei sowohl die Frage, welche Informationen politische Entscheidungstragende für aktuelle Entscheidungsprozesse benötigen, als

auch, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse für langfristig tragfähige Entscheidungen von Bedeutung sind.

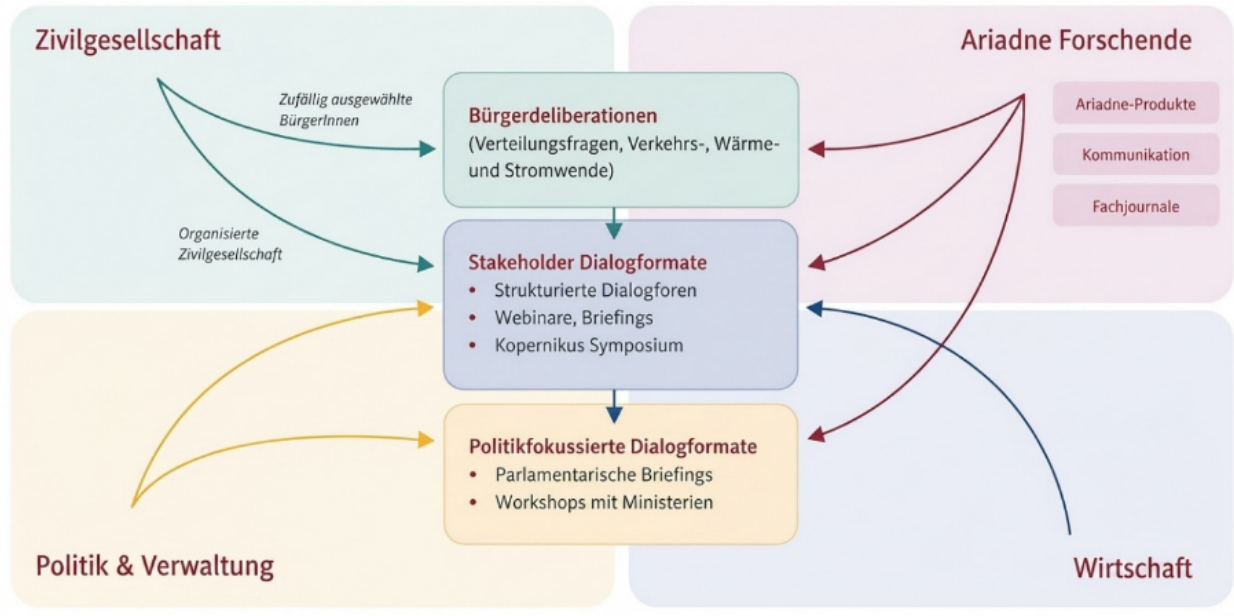
Eine Besonderheit des Projekts war darüber hinaus die kontinuierliche und systematische Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern am Lernprozess. Umfragen belegen: Die Bevölkerung unterstützt Energiewende und Klimaschutz (Brase et al. 2025, Europäische Kommission 2025), sobald Maßnahmen jedoch konkret werden, wachsen die Vorbehalte. Einzelne Schritte werden dann als zu teuer, sozial unausgewogen oder zu einschränkend abgelehnt. Im Rahmen der Bürgerdeliberation wurde so die Suche nach politischen Optionen um Perspektiven von Bürgerinnen und Bürgern erweitert. Ziel war es besser zu verstehen, welche Maßnahmen aus welchen Gründen befürwortet oder abgelehnt werden, wo gesellschaftliche Kompromissräume bestehen und welche Maßnahmen gebündelt werden müssen, um verschiedene Bevölkerungsgruppen anzusprechen. Letztendlich konnten effektive Politikmixe für den Klimaschutz entwickelt werdem, die wissenschaftlich fundiert und gesellschaftlich tragfähig sind. Dazu wurden seit 2020 über 300 zufällig ausgewählte Bürgerinnen und Bürger aus ganz Deutschland in verschiedenen Dialogformate vor Ort und online am Forschungsprozess beteiligt.

Während in Ariadne 1 (2020-2023) die Strom- und Verkehrswende im Mittelpunkt des Dialogprozesses zwischen Wissenschaft und Bürgerinnen und Bürgern standen (vgl. Blum et al. 2024) fokussierte Ariadne 2 (2023-2026) in der Bürgerdeliberation die verbrauchernahen Sektoren Verkehr und Wärme sowie Finanzierungs- und Verteilungsfragen der Klimapolitik.

Um eine möglichst breite Vielfalt gesellschaftlicher Perspektiven abzubilden, wurden die Teilnehmenden jeweils mittels einer stratifizierten Zufallsauswahl aus ganz Deutschland rekrutiert (Treichel-Grass 2026). Dieses Verfahren zielte insbesondere darauf ab, auch Bevölkerungsgruppen einzubeziehen, die üblicherweise nur selten durch Beteiligungsprozesse erreicht werden. Während Ariadne 1 explorativ an den Prozess heranging und mit offenen Leitfragen startete, standen in Ariadne 2 von Beginn an öffentlich diskutierte, und damit bereits teilweise bekannte Politikoptionen im Fokus. Auf der Auftaktveranstaltung 2024 bewerteten die Bürgerinnen und Bürger zunächst vieldiskutierte Politikmaßnahmen. In zwei daran anschließenden Online-Deliberationen entwickelten die Teilnehmenden tragfähige Politikmixe für die Verkehrs- und Wärmewende sowie die Finanzierung von Klimapolitik unter Berücksichtigung fiskalischer Restriktionen. Die Ergebnisse wurden schließlich auf dem Bürgergipfel im Juni 2026 mit Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Zivilgesellschaft diskutiert. Der Bürgerdeliberationsprozess wurde durch wissensvermittelnde Medienformate wie Broschüren, Filme und Apps unterstützt (Ariadne 2026a, 2026b).

Darüber hinaus wurden zum regelmäßigen Austausch zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft verschiedene Formate etabliert, um den gesamtgesellschaftlichen Dialog und Lernprozess zu fördern. Diese boten Raum, wissenschaftliche Erkenntnisse, Problemanalysen und politische Handlungsoptionen gemeinsam zu diskutieren sowie Umsetzungs- und Evaluierungsfragen der verschiedenen Akteure in den Forschungsprozess zu holen. Im Mittelpunkt standen dabei stets die Fragen, was Entscheidungstragende wissen sollten und was sie wissen wollen. Zu den wichtigsten Formaten zählten, neben den Bürgergipfeln, parlamentarische Frühstücke, Politikwerkstätten, Webinare, die Kopernikus-Symposien, Ariad-

Abbildung: Dialogformate des Ariadne-Lernprozesses. *Quelle: Epp und Treichel-Grass (i.E.); angepasst mit Google Gemini durch Lukas Hoff*



ne@Brüssel sowie sektorale Dialogforen zu zentralen Fragestellungen der Energiewende. In den verschiedenen Formaten wurden wissenschaftliche Inputs mit Projektergebnissen jeweils ergänzt durch Perspektiven aus der Praxis und eröffneten den Raum für die weitere Diskussion. Die Erkenntnisse aus diesen Austauschformaten flossen sowohl in die wissenschaftliche Arbeit des Projekts als auch in dessen öffentliche Kommunikation. In unterschiedlichen Ariadne-Produkten wurden Forschungsergebnisse und Handlungsoptionen bereitgestellt, darunter Policy Briefs, Themendossiers, Hintergrundpapiere, Analysen, Visualisierungen und interaktive Web-Anwendungen. Ergänzend wurden zentrale Erkenntnisse über verschiedene Kanäle der Wissenschaftskommunikation für eine breitere Öffentlichkeit aufbereitet und verbreitet. Auf der MS Wissenschaft stellte Ariadne zudem die Ergebnisse der ersten Phase der Bürgerbeteiligung sowie den Transformation Tracker vor. Schließlich wurde die Kopernikus-Projekt-übergreifende Babbel Bubble als mobiles Dialog-Format etabliert, in der Bürgerinnen und Bürger an diversen Standorten der Bundesrepublik in den direkten Austausch mit Forschenden treten konnten. Auf diese Weise erreichten die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse sowohl Entscheidungstragende als auch eine breitere gesellschaftliche Öffentlichkeit.

Literaturangaben

Ariadne 2026a: Ergebnisse der Ariadne Bürgerdeliberation, Übersicht auf der Website https://ariadneprojekt.de/buergerdeliberation-2023-2026-ergebnisse/

Ariadne 2026b: Lern- und Explorationsmodule, https://ariadneprojekt.de/lern-und-explorationsmodule/

Blum, M., Treichel-Grass, K., Kowarsch, M. (2024): Der Lernprozess mit Bürgerinnen und Bürgern an der Schnittstelle Wissenschaft-Politik-Gesellschaft im Kopernikus-Projekt Ariadne (2020-2023). Potsdam: Kopernikus-Projekt Ariadne, https://ariadneprojekt.de/media/2024/03/Ariadne-Hintergrund_BuergerLernprozess_Maerz2024.pdf

Brase, J., Miebach, E., Niedermeier, N. (2025): Wähler wollen oft mehr Klimaschutz, https://www.zdfheute.de/politik/deutschland/klimaschutz-wahlkampf-bundestagswahl-2025-100.html

Epp, J., Treichel-Grass, K. (im Erscheinen): Wissenschaftliche Politikberatung in der Energie- und Klimapolitik als gesamtgesellschaftlicher Lernprozess. In: Kastenhofer, Karen; Albiez, Marius; Riousset, Pauline; Scherz, Constanze; Decker, Michael (Hg.): Wissenschaftliche Politikberatung in Krisenzeiten

European Commission (2025): Directorate-General for Climate Action, Climate change – Eurobarometer report, Publications Office of the European Union, 2025, https://data.europa.eu/doi/10.2834/3928510

Treichel-Grass, K. (2026): Der Gipfel - Zeitung für den Wandel. Ergebnisse der Ariadne-Bürgerdeliberation 2023-26, https://ariadneprojekt.de/media/2026/06/20260527_Ifok_Ariadne_Zeitung_Umschlag_02_rz_Ansicht.pdf

4. ÜBERSICHT DER FORSCHUNG DER ARIADNE-ARBEITSPAKETE

Der folgende Teil des Reports gibt eine Übersicht der Forschung in den einzelnen Arbeitspaketen. Er beschreibt, mit welchen Fragen sie in die Ariadne-Forschung gestartet sind und wie sich einige Annahmen, die anfangs forschungsleitend waren, in der Realität entwickelt haben. Mit Blick auf die Entwicklungen der vergangenen Jahre soll zudem die Frage beantwortet werden: Wo stand die Transformation damals und was wurde seitdem erreicht?

Des Weiteren beleuchten die Arbeitspakete die zentralen Erkenntnisse ihrer Arbeit und zeigen auf, wie Ariadne entlang der unterschiedlichen Themenfelder den Diskurs prägen konnte. Ein besonderer Fokus wird auf die Ergebnisse der Bürgerdeliberation gelegt, die in der letzten Projektphase in den drei Themenbereichen Wärme, Verteilungs- und Finanzierungsfragen sowie Verkehr die Arbeit der Forschenden begleitete. Die Kapitel schließen mit zentralen offenen Fragen und einem Ausblick auf die weiteren Forschungsbedarfe. Während viele Forschungsfragen das Ariadne Projekt seit 2020 geprägt haben, beziehen sich die Reflektionen der Arbeitspakete insbesondere auf die letzte Phase des Ariadne Projekts seit 2023.

ARBEITSPAKET 1: SZENARIENFORUM KLIMANEUTRALITÄT

Autorinnen und Autoren: *Gunnar Luderer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Frederike Bartels (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Tom Brown (TU Berlin), Michael Lindner (TU Berlin), Julian Geis (TU Berlin)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket (AP) Szenarienforum untersuchte unter Einbeziehung der Expertise des AP Strom, AP Wärme, AP Verkehr und AP Industrie, wie die Transformation des deutschen Energiesystems zur Klimaneutralität 2045 gelingen kann. Es formulierte realitätsnahe und plausible Szenarien, die sich insbesondere hinsichtlich Energieträgermix, Technologieauswahl, Politikmaßnahmen und Transformationsgeschwindigkeit unterscheiden. Diese Pfade wurden mit Hilfe von techno-ökonomischen Gesamtsystemmodellen (REMIND, REMod, PyPSA) und sektorspezifischen Modellen (Aladin/Astra, Forecast) im Modellvergleich ausgearbeitet.

Damit beantwortete das AP folgende Fragestellungen:

1. Was sind unstrittige Kernelemente einer erfolgreichen Transformation und was ist darüber hinaus der Optionenraum zur Erreichung der Klimaziele und der Klimaneutralität?
2. Welche Transformationshemmnisse bestehen, wo drohen fossile Lock-Ins und was sind die Folgen einer verzögerten Transformation?
3. Wie kann die Energiewende kosteneffizient gestaltet werden? Worin bestehen die größten Kostenrisiken und welche Effizienzhebel gibt es?
4. Welche Investitionsbedarfe und Mehrkosten entstehen durch die Energiewende für Haushalte, Privatwirtschaft und öffentliche Hand?
5. Wie kann der Ausstieg aus fossilen Energien und der Einstieg in klimafreundliche Alternativen in Zeiten geopolitischer Konfrontationen die Energiesicherheit und -unabhängigkeit stärken?

2. Stand der Dinge

Im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, 2021) hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, die Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 zu mindern und bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Zwar sind die Emissionen seit 1990 bereits um etwa 50% gesunken, jedoch muss sich das Minderungstempo für die Zielerreichung in den nächsten zwei Jahrzehnten fast verdoppeln.

Während der Ausbau von Erneuerbaren Energien voranschreitet, schleppt die effektive Integration des erneuerbaren Stroms: Der Ausbau von Netzen, Speichern und weiterer Infrastruktur kann aktuell nicht Schritt halten und es fehlen Anreize für netzdienlichen, flexiblen Verbrauch.

Zudem schreitet die nötige Elektrifizierung in einzelnen Sektoren zu langsam voran: Noch immer kommt die Wärme in fast 75 % der Wohnungen aus Gas- oder

Öl-Heizungen und deutlich über 90 % der Pkw auf deutschen Straßen fahren mit Benzin, Diesel und anderen fossilen Kraftstoffen (BDEW, 2025, KBA, 2026). Für die Klima-Transformation der Industrie ist neben erneuerbarem Strom die Verfügbarkeit von grünen Molekülen wie Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe essentiell. Da diese knapp und teuer bleiben werden, gilt es gleichzeitig Maßnahmen zu finden, die die Wettbewerbsfähigkeit der industriellen Produktion erhalten.

Die Transformation ist angestoßen, verläuft jedoch – wie der Ariadne-Transformationstracker zeigt – an vielen Stellen zu langsam. Auch die aktuellen politischen Debatten zum Klimaschutz spiegeln die Herausforderungen der Energiewende wider: Vor dem Hintergrund der schwachen konjunkturellen Entwicklung in Deutschland rückt die Frage nach einer bezahlbaren Energiewende in den Fokus.

Gleichzeitig führen aktuelle geopolitische Krisen wiederholt zu stark steigenden Energiepreisen und verdeutlichen die Notwendigkeit einer höheren Energiesouveränität durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Mit dem Ariadne-Szenarienreport 2021 konnte das AP "Szenarien und Pfade" aufzeigen, dass eine Transformation zur Klimaneutralität möglich ist und im Report die wesentlichen Elemente der Transformation verdeutlichen: (1) Dekarbonisierung der Stromerzeugung, (2) Elektrifizierung der Endnutzung und (3) Einsatz grüner Moleküle für nicht-elektrifizierbare Bedarfe (Luderer et al., 2021).

Vor dem Hintergrund des russischen Angriffs auf die Ukraine zeigte das AP "Szenarien und Pfade" im Jahr 2022 mit einer neuen Analyse, dass eine beschleunigte Transformation den Erdgasbedarf - insbesondere für das Heizen und in der Industrie- und Energiewirtschaft - innerhalb von drei Jahren um 30 % senken könnte (Luderer et al., 2022). Der Szenarienreport aus dem Jahr 2025 (Luderer et al., 2025) bestätigte die Kernelemente der erfolgreichen Transformation zur Klimaneutralität bis 2045 und zeigte kosteneffiziente Pfade auf: Die Investitionsbedarfe für die Energiewende wurden auf 116 bis 131 Milliarden pro Jahr, die Nettomehrkosten auf 16 bis 26 Milliarden Euro pro Jahr beziffert. Als wesentliche Hebel für Kosteneffizienz wurden der zügige Ausbau der Erneuerbaren, die weitestgehende Elektrifizierung der Energieanwendungen, das Anreizen von Flexibilität durch Preissignale und die integrierte Planung von Strom- und Wasserstoffinfrastruktur identifiziert.

Die Ariadne-Szenarien haben sich als zentraler Referenzpunkt im deutschen Energiewendediskurs entwickelt. Sie trugen als einzige wissenschaftlich unabhängige Studie zum Big-5-Vergleich von Klimaneutralitätsszenarien bei (Prognos, BCG, EWI, Fraunhofer ISI, PIK, 2022). Der auf den Szenarien aufbauende Ariadne-Transformationstracker ist ein interaktives Webtool, das seit 2023 den aktuellen Status der Energiewende visualisiert. Des weiteren wurden Ariadne-Szenarien umfangreich für die Gutachten des Expertenrates für Klimafragen (Expertenrat, 2025), den Bericht zum Energiewendemonitoring des BMWE (EWI & BET, 2025) und in zahlreichen weiteren Expertengutachten zur Energiewende genutzt. Auch in der Entwicklung des Szenariorahmens des Netzentwicklungsplans Gas 2027 werden die Ariadne-Szenarien berücksichtigt. Die Szenarien tragen also umfangreich zur Ausgestaltung von Energie- und Klimaschutzstrategien in Politik und Privatwirtschaft bei.

Im Kontext der Diskussionen um das Energiewendemonitoring des BMWE konnte eine dezidierte Szenarienanalyse zur Wirkung eines gebremsten Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung bis 2030 zeigen, dass eine Verringerung des EE-Ausbaus zu höheren Strompreisen, Mehrkosten für Stromkundinnen und -kunden (+20 EUR/MWh bzw. 9,0–13,2 Mrd. EUR Mehrkosten im Falle von -30 % EE-Ausbau), einem Verfehlen des Klimaziels 2030 und größerer Abhängigkeit von Gasimporten führen würde (Lindner et al., 2025).

Weitere Analysen beschäftigten sich mit den entscheidenden Mechanismen für die Preisbildung in einem klimaneutralen Stromsystem und der Rolle von Flexibilitätsoptionen für Systemstabilität und Kosteneffizienz (Geis et al., 2026a, Geis et al., 2026b).
Das Arbeitspaket ergänzte die Szenarien zudem um ihre Umweltwirkungen, Rohstoffkritikalität, ökonomische Folgewirkungen, und regionale Wärmewendepfade. Zur EU-Debatte trägt das AP mit einer Untersuchung der Interaktion zwischen dem sektorübergreifenden Emissionshandelssystem ETS 2 und sektorspezifischen Politikinstrumenten im Gebäude- und Verkehrssektor bei. Diese Publikationen erscheinen im Herbst 2026.

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Pfadabhängigkeiten im Energiesystem und Folgen verzögerter Transformation

Welche volkswirtschaftlichen Kosten, zusätzlichen Infrastrukturbedarfe und Lock-in Effekte entstehen aus einer verzögerten Transformationsdynamik? Transformationsentscheidungen wirken langfristig und sind sektorübergreifend miteinander verwoben, so dass heutige Investitionen den Optionenraum für spätere Entscheidungen erweitern oder einschränken. Szenarien decken diese Abhängigkeiten auf und analysieren, wie sich zeitliche Verzögerungen der Transformation in Industrie, Verkehr oder Gebäudesektor auf das Gesamtsystem auswirken.

Wirkung von Politikinstrumenten in der sektoralen Transformation

Welcher Politikmix – etwa Förderprogramme, Regulierung, CO_2-Bepreisung oder Infrastrukturpolitik – sind besonders wirksam für das Gelingen einer schnelleren Transformation? Welche Wechselwirkungen bestehen?

Die Szenarienmodellierung ermöglicht die ex-ante Bewertung einzelner und kombinierter politischer Maßnahmen, indem sie ihre Auswirkungen auf Investitionsentscheidungen, die Transformationsgeschwindigkeit, die Entwicklung der

Energiepreise und soziale Verteilungseffekte abschätzt.

Wechselwirkungen von Klimaschutz, Geopolitik und Resilienz

Aktuelle geopolitische Entwicklungen offenbaren die Abhängigkeit und Verwundbarkeit des deutschen Wirtschafts- und Energiesystems, wenn globale Lieferketten, Handelsrouten und das Angebot von Rohstoffen und Energieträgern gestört werden. Weitere Szenarienarbeiten können die Wirkung von Klimaschutz-Anstrengungen auf die Reduzierung fossiler Importe und die Diversifizierung von Lieferketten untersuchen, und damit die Entwicklung von Strategien für Resilienz und Krisenfestigkeit des Energiesystems unterstützen.

Auswirkungen des Strukturwandels in der Grundstoffindustrie und ökonomische Tragfähigkeit

Der Strukturwandel in der Grundstoffindustrie, der mit der klimaneutralen Transformation einhergeht, hat Auswirkungen über den Industriesektor hinaus. Mit Hilfe der Szenarienmodellierung kann beispielsweise untersucht werden, wie sich die Infrastrukturplanung für Strom und Wasserstoff bei der Verlagerung von energieintensiver Produktion ins Ausland anpassen sollte. Auch die fiskalischen Effekte, die sich aus Maßnahmen zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Grundstoffindustrie im Inland ergeben, lassen sich analysieren.

Deckung von Bedarfen für grüne Moleküle

Für klimaneutrale Produktionsprozesse und schwer elektrifizierbare Anwendungen im Luft- und Schiffsverkehr werden erhebliche Mengen grüner Moleküle – insbesondere Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger – benötigt. Da grüne Moleküle absehbar knapp und teuer bleiben werden, gilt es, diese Ressource kostenoptimal verfügbar zu machen und auf die Bedarfe zuzuweisen. Systemische Szenarioanalysen bestimmen die zukünftigen Bedarfe und eine effiziente sektorale Priorisierung, verknüpfen Importoptionen mit der heimischen Produktion und ermöglichen eine integrierte Infrastrukturplanung. Auch Resilienz als Zielkriterium für die optimale strategische Versorgung mit klimaneutralen Molekülen kann in Szenarien berücksichtigt werden.

Literaturangaben

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2025): Wie heizt Deutschland 2023? https://www.bdew.de/energie/studie-wie-heizt-deutschland/

EWI, BET (2025): Energiewende. Effizient. Machen. – Monitoringbericht zum Start der 21. Legislaturperiode, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Expertenrat für Klimafragen (2025): Zweijahresgutachten 2024. Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). https://www.expertenrat-klima.de

Geis, J., Neumann, F., Lindner, M., Härtel, P., Brown, T. (2026a): Price formation in a highly-renewable, sector-coupled energy system. Energy Economics, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2026.109213

Geis, J., Lindner, M., Brown, T. (2026b): Managing the Mismatch: The Role of Flexibility on the Path to a Carbon-Neutral Energy System. https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.00674

Kraftfahrt-Bundesamt (2026): Bestand nach ausgewählten Merkmalen (FZ 27). https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html?nn=854286

Lindner, M., Geis, J., Luderer, G., Bartels, F., Brown, T. (2025): Auswirkungen einer Anpassung der Ausbauziele für Erneuerbare Energien für das Jahr 2030. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://doi.org/10.48485/pik.2025.30

Luderer, G., Kost, C., Soergel, D. (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Luderer, G., Bartels, F., Blesl, M., Burkhardt, A., Edenhofer, O., Fahl, U., Gillich, A., Herbst, A., Hufendiek, K., Kaiser, M., Kittel, L., Koller, F., Kost, C., Pietzcker, R., Rehfeldt, M., Schreyer, F., Seibert, D., Sievers, L. (2022): Deutschland auf dem Weg aus der Gaskrise – Wie sich Klimaschutz und Energiesouveränität vereinen lassen. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://doi.org/10.48485/pik.2022.004

Luderer, G., Bartels, F., Brown, T., Aulich, C., Benke, F., Fleiter, T., Frank, F., Ganal, H., Geis, J., Gerhardt, N., Gnann, T., Gunnemann, A., Hasse, R., Herbst, A., Herkel, S., Hoppe, J., Kost, C., Krail, M., Lindner, M., Neuwirth, M., Nolte, H., Pietzcker, R., Plötz, P., Rehfeldt, M., Schreyer, F., Seibold, T., Senkpiel, C., Sörgel, D., Speth, D., Steffen, B., Verpoort, P. C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://doi.org/10.48485/pik.2025.003

Prognos, BCG, EWI, Fraunhofer ISI, PIK (2022): Vergleich der Big-5 Szenarien. https://ariadneprojekt.de/media/2022/03/2022-03-16-Big5-Szenarienvergleich_final.pdf

ARBEITSPAKET 2: VERTEILUNGSFRAGEN UND GESELLSCHAFTLICHE TRÄGERSCHAFT

Autorinnen und Autoren: *Benita Ebersbach (RIFS), Matthias Kalkuhl (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Maximilian Kellner (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Michael Krug (TU München), Nikolaj Moretti (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Karolina Rütten (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Katja Treichel-Grass (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket zu Verteilungsfragen untersuchte die Verteilungswirkung von klima- und energiepolitischen Instrumenten wie CO2-Bepreisung, Förderprogramme für grüne Technologien und ordnungsrechtliche Eingriffe. Darüber hinaus wurden innovative Ansätze zur Integration der Klimapolitik in die bestehenden steuer- und fiskalpolitischen Systeme entwickelt. Diese Analysen wurden eingebettet in experimental-ökonomische Befragungen über die Unterstützung für Klimapolitik und den bevorzugten Instrumentenmix der Bürgerinnen und Bürger. Flankiert wurden die Forschungen um einen umfassenden Prozess zum Austausch zwischen Gesellschaft und Wissenschaft im Rahmen der Ariadne-Bürgerdeliberation. Dies ermöglichte einen fortlaufenden Realitätscheck und die Identifikation von Bedingungen für eine breite gesellschaftliche Trägerschaft der Transformation. Die zentralen Leitfragen waren:

1. Welche Wirkung hat Klimapolitik auf die inter- und intragenerationale (Verteilungs-)Gerechtigkeit und welche Instrumente stehen im Rahmen der europäischen Klimapolitik insbesondere zur Entlastung vulnerabler Haushalte zur Verfügung?
2. Welche makroökonomischen Implikationen ergeben sich durch klimapolitische Eingriffe und wie lassen sich Fiskal- und Klimapolitik stärker aufeinander abstimmen?
3. Welche gesellschaftliche Unterstützung genießen verschiedene Politikansätze und welche Bedenken äußern Bürgerinnen und Bürger im Hinblick auf Gerechtigkeit, Verteilung und Effektivität?

2. Stand der Dinge

Mit der Dekarbonisierung des Verkehrs- und Gebäudesektors rücken die Anforderungen der Transformation und die Implikationen von Klimapolitik immer stärker ins Bewusstsein und die Lebensrealität der Menschen. Steigende CO_2-Preise im nationalen Emissionshandel und die bevorstehende Einführung des EU ETS 2 für Gebäude und Verkehr bedeuten, dass nicht länger nur industrielle Großbetriebe von marktbasierten Interventionen betroffen sind, sondern die individuelle Heizkostenabrechnung, Preise an der Zapfsäule und Investitionsentscheidungen im Heizungskeller direkt beeinflussen.

Vor diesem Hintergrund kommt der Berücksichtigung von Verteilungseffekten und geeigneten Kompensationsmöglichkeiten eine zentrale Bedeutung zu, da die Kosten der Transformation ungleich

auf verschiedene Bevölkerungsgruppen verteilt sind. Dabei führen heterogene Mobilitäts- und Wärmebedarfe sowie unterschiedliche Ausgangsbedingungen nicht nur zu stark variierenden Belastungen zwischen, sondern auch innerhalb von Einkommensgruppen. Um gerade vulnerable Haushalte und Kleinstunternehmen zur Transformation zu befähigen und übermäßige Kosten zu vermeiden, müssen Klimaschutz und soziale Fragen stärker im Verbund betrachtet und systematisch integrierte Politikinstrumente entwickelt werden. Allerdings steht die Entwicklung entsprechender Strategien und Politiken in Deutschland noch am Anfang, es überwiegen punktuelle Einzelmaßnahmen (Krug et al. 2025). Bisher hat die Mehrzahl der EU-Mitgliedstaaten, einschließlich Deutschland, keine Klimasozialpläne vorgelegt, obwohl diese zum Abruf von Mitteln aus dem europäischen Klimasozialfonds prinzipiell notwendig sind (Lettow et al. 2026).

Die Diskussionen im Rahmen der Ariadne-Bürgerdeliberation zeigen zudem einen hohen Grad an Verunsicherung und den starken Wunsch nach mehr Informationstransparenz auf Seiten der Bevölkerungen bezüglich der Wirkungsweise von CO_2-Preisen, Verteilungseffekten und Kompensatiosmöglichkeiten, insbesondere auch in Bezug auf den EU ETS 2, der den teilnehmenden Bürgerinnen und Bürgern weitestgehend unbekannt war.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Durch seine integrierte Zusammensetzung aus makroökonomischer Analyse, experimental-ökonomischer Befragungsmethoden, Auswertung europäischer Klimapolitik und einem kontinuierlichen Bürgerdialog, konnte das AP "Verteilungsgerechtigkeit" eine vielschichtige Perspektive auf Verteilungseffekte, Kompensationspotenziale sowie Anforderungen für gesellschaftliche Trägerschaft erarbeiten.

Quantitative Verteilungsanalysen auf Haushaltsebene

Um heterogene Verteilungseffekte und Belastungen durch die CO_2-Bepreisung, abbilden zu können, wurde ein flexibles Simulationstool[2] entwickelt und in verschiedensten tagespolitisch relevanten Kontexten angewendet: Von der Analyse des 2021 eingeführten nationalen Emissionshandels bis zu den Auswirkungen der Energiepreiskrise 2022 und einer Bewertung der durch die Experten-Kommission Gas und Wärme vorgeschlagenen Entlastungsmaßnahmen (Hänsel et al. 2025). Zuletzt wurde das Tool in Kooperation mit dem ZDF-Format MaiThinkX zur Entwicklung einer Webanwendung[3] genutzt. Darüber hinaus wurden, als Querverbindung zum Arbeitspaket "Wärmewende", die verteilungspolitischen Besonderheiten des Gebäudesektors untersucht und ein Politikmix zur Kompensation der verschiedenen Transformationskosten im Gebäudesektor entwickelt (Kalkuhl et al. 2024a,b). Die Ergebnisse dieser Analysen wurden wiederholt medial aufgegriffen, beispielsweise in Die Zeit, Spiegel und Welt, sowie bei zivilgesellschaftlichen Organisationen, Politik und Ministerien präsentiert.

Makroökonomische und fiskalpolitische Dimension

Die zeitliche Diskrepanz zwischen heute anfallenden Kosten und deren zukünftigem Nutzen durch vermiedene Klimaschäden stellt Klimapolitik vor spezielle polit-ökonomische Herausforderungen. Um Regierungen, die auf Stimmen der heutigen Wahlberechtigten angewiesen sind, zu langfristigen Investitionen in angemessen hohem Ausmaß zu bewegen, wurde die „grün-goldene Regel der Fiskalpolitik" entwickelt (Edenhofer et al. 2025a,b). Im Gegensatz zu etablierten Fiskal- und Verschuldungsregeln ist die grün-goldene Regel nicht vorgebend im Hinblick darauf, wofür sich der Staat verschulden darf. Ob und wie viel Neuverschuldung zulässig ist, hängt allein davon ab, ob nachweislich Emissionen vermieden wurden. Diese Flexibilisierung verhindert einerseits zu niedrige Investitionen in notwendige Zukunftsprojekte und erweitert den Handlungsspielraum für Entscheidungstragende bei heutigen Weichenstellungen, da die Neuverschuldung keiner Zweckbindung unterliegt.

Befragungsexperimente zur Rolle von Informationen und Akzeptanz

Ökonomische Effizienz allein ist jedoch nicht hinreichend für die Umsetzbarkeit einer Politikmaßnahme. Gerade die CO_2-Bepreisung ermöglicht zwar eine Transformation zu den geringsten gesellschaftlichen Gesamtkosten, erfährt in Befragungen aber oft wenig Unterstützung (Kellner et al. 2026). Im Rahmen von Umfrageexperimenten wurden deshalb klima- und energiepolitische Ereignisse genutzt, um die Auswirkungen verschiedener akzeptanzrelevanter Dimensionen zu untersuchen. So zeigt sich, dass Strompreisschocks während der Energiepreiskrise 2022 negative Konsequenzen auf die Zustimmungswerte demokratischer Parteien hatten (Konc et al., in Vorb.). Ähnlich wirkte sich die Reform des Gebäudeenergiegesetzes im Jahr 2023 negativ auf die Zustimmung zu zusätzlichen Klimapolitikmaßnahmen aus (Kramer et al., in Vorb.). Dagegen kann eine Offenlegung der Kosten von CO_2-Bepreisung und Förderprogrammen höhere Emissionsabgaben tragfähig machen (Kalkuhl et al. 2026a). Gleichzeitig stellte sich heraus, dass im Durchschnitt eine deutliche und anhaltende Präferenz für einen ausgewogenen Mix aus beiden Instrumenten besteht. Die Ergebnisse dieser Befragung wurden unter anderem im Rahmen eines Workshops des Sozial-Klimarats im Mai 2026 vorgestellt und diskutiert.

Blick über den Tellerrand: Analyse der Nationalen Energie- und Klimapläne

Eine vergleichende Analyse der Nationalen Energie- und Klimapläne (NECPs) zeigte, dass Deutschland nur über wenige zielgruppenspezifische oder sozial gestaffelte Förderprogramme verfügt, die unterschiedliche Lebenslagen vulnerabler Haushalte ausreichend berücksichti-

2 Aufrubar hier: https://mcc-berlin.shinyapps.io/co2preisrechner/
3 Aufrufbar hier: https://klimageld-rechner.com/

gen. Die Ausgestaltung solcher Programme steht im Spannungsfeld zwischen bürokratiearmer Umsetzung und bedarfsgerechter Verteilung. Andere EU-Länder verfügen hier teils über umfassendere Ansätze, etwa einkommensabhängige Investitionskostenzuschüsse, zielgruppenspezifische Förderprogramme, aber auch weniger etablierte Optionen wie die Förderung inklusiver Energiegemeinschaften oder Energy Sharing (Krug et al. 2025). Gesellschaftliche Trägerschaft beruht dabei nicht lediglich auf verfahrensmäßiger Beteiligung und Mitsprache, sondern auch auf finanzieller Teilhabe am Nutzen erfolgreicher Klimapolitik.

Bürgerdeliberation

Die Ariadne-Bürgerdeliberation begleitete den Forschungsprozess im Arbeitspaket kontinuierlich - beginnend mit dem Bürgergipfel in Fulda 2024 und fortgesetzt durch zwei Online-Deliberationen in den beiden Folgejahren. Den Abschluss bildete der Bürgergipfel, der als Ergebnisveranstaltung im Juni 2026 in Berlin stattfand.

Neben einem klaren Bekenntnis der Bürgerinnen und Bürger zum Verursacherprinzip, der Grundidee der CO_2-Bepreisung, wurden auch an der Leistungsfähigkeit orientierte Kostenverteilung und bedarfsorientierte bzw. sozial gestaffelte Förderprogramme wiederholt gewünscht (Treichel-Grass et al. 2025). Der integrierte Prozess als zentrale Besonderheit von Ariadne ermöglichte den direkten Austausch mit der Bevölkerung über verschiedene Klimapolitik-Szenarien. Während das Online-Befragungsexperiment einen Überblick über die präferierte Ausgestaltung der Klimapolitik im Allgemeinen lieferte, machten die Diskussionen in Kleingruppen mögliche gesellschaftliche Konsens- und Kompromissräume sichtbar.

Dabei zeigte sich beispielsweise, dass die Ausgestaltung der Finanzierung von Förderprogrammen einen entscheidenden Einfluss auf die Präferenzen der Teilnehmenden hatte. Eine Finanzierung über eine pauschale Erhöhung der Mehrwertsteuer wurde überwiegend abgelehnt, was sich in einer geringeren Zustimmung zu förderintensiven Politikoptionen niederschlug. Einkommens- und vermögensabhängige Finanzierungsoptionen wurden hingegen positiver bewertet. Darüber hinaus brachten die Teilnehmenden weitere Finanzierungsvorschläge ein, etwa den Abbau fossiler Subventionen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass zusätzliche Finanzierungsoptionen den Wunsch nach stärker differenzierten und individuell ausgestalteten Lösungen verstärkten. So wurde im Zusammenhang mit einkommensabhängigen Finanzierungsinstrumenten unter anderem eingewandt, dass Arbeitseinkommen in Deutschland bereits hoch belastet seien und eine zusätzliche finanzielle Bürde daher kritisch gesehen werde (Treichel-Grass 2026).

Eine weitere Erkenntnis des Bürgerdeliberationsprozesses betrifft die Bedeutung politischer Kommunikation für die Akzeptanz klimapolitischer Maßnahmen. Die Teilnehmenden wünschten sich eine konsistente und nachvollziehbare Klimapolitik anstelle kurzfristiger Kurswechsel. Als zentrale Voraussetzungen nannten sie wissenschaftlich fundierte und verständlich aufbereitete Informationen, Transparenz über Belastungen und Kompensationsmaßnahmen sowie eine höhere Planungssicherheit, auch im Hinblick auf individuelle Investitions- und Kaufentscheidungen. Darüber hinaus wurde der Wunsch nach einer positiven Zukunftserzählung deutlich, die Klimaschutz als Grundlage für langfristigen Wohlstand vermittelt.

Die Ergebnisse des zweijährigen Deliberationsprozesses wurde mit Vertreterinnen und Vertretern des Bundesministeriums für Finanzen und Bundesumweltministerium sowie des Thinktanks Zukunft KlimaSozial auf dem Bürgergipfel diskutiert, an dem insgesamt 154 Akteurinnen und Akteure aus Politik und Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft teilnahmen.

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Die bislang nur schleppend voranschreitende Dekarbonisierung des Gebäude- und Fahrzeugbestands läuft Gefahr, in den kommenden Jahren die finanzielle Belastung für Haushalte weiter zu erhöhen, wenn sie nicht mit einem ausgewogenen Politikmix gestaltet wird. Ziel muss sein, die Transformation für alle Haushalte schrittweise und kosteneffizient zu ermöglichen sowie fossile Lock-Ins zu vermeiden. Offen bleibt bislang, wie Einnahmen aus der Bepreisung konkret genutzt werden sollen, um Härtefälle gezielt abzufedern und eine Transformation über die Breite der Gesellschaft anzustoßen. Daher ist ein Politikmix unerlässlich, der sowohl kosteneffiziente Zielerreichung, als auch Verteilungs- und Akzeptanzeffekte der einzelnen Instrumente berücksichtigt. Eine zentrale Frage ist hierbei, wie Förderprogramme sowohl flexibler als auch bürokratieärmer gestaltet werden können, um die Inanspruchnahme zu erleichtern, Kosteneffizienz zu erhöhen und gleichzeitig dem ausdrücklichen Wunsch der Bürgerinnen und Bürger nach bedarfsorientierter Förderung gerecht zu werden.

Zudem sollte der bestehende Instrumentenmix um innovative Ansätze ergänzt werden. Denkbar sind hier eine Investitionsabgabe auf fossile Neuanschaffungen in Form eines vorgelagerten CO_2-Preises, Standards für Gebäudeeffizienz oder Emissionsausstoß in Form handelbarer Zertifikate. Je nach Ausgestaltung können solche Ansätze gezielt vulnerable Haushalte entlasten und die gesamtwirtschaftliche Effizienz von ordnungsrechtlichen Vorgaben steigern. Um diese Ideen in konkrete und robuste Handlungsoptionen zu formen, ist eine rigorose wissenschaftliche Auswertung, analog zum Vorgehen bei der in diesem Arbeitspaket erarbeiteten grün-goldenen Regel, erforderlich.

Die Transformation zur Klimaneutralität erfordert politische Entscheidungen, die ökologische Wirksamkeit, ökonomische Effizienz und gesellschaftliche Verteilungsgerechtigkeit gleichermaßen berücksichtigen. Die Suche nach einem tragfähigen Instrumentenmix ist daher nicht allein eine rein technische oder ökonomische Optimierungsaufgabe, sondern berührt grundlegende normative Fragen. Gerade hier eröffnet die systematische Integration gesellschaftlicher Perspektiven eine Chance für die wissenschaftliche Politikberatung. Sie ermöglicht es, Akzeptanzfragen, unterschiedli-

che Gerechtigkeitsvorstellungen und potenzielle Konflikte bereits bei der Entwicklung von Politikoptionen zu berücksichtigen. Deliberative Formate liefern damit nicht nur Informationen über Präferenzen, sondern machen auch Kompromiss- und Konsensräume sichtbar und können Hinweise für die Ausgestaltung sowie Kommunikation politischer Maßnahmen geben.

Die genaue Gestaltung dieser Dialogprozesse sowie die strukturelle Identifizierung von politischen Fragestellungen, die in solchen Formaten ausgehandelt werden können, sind offene Fragen für weitere Forschung. Erkenntnisse aus dem Kopernikus-Projekt Ariadne über die Gestaltung und Wirkung transdisziplinärer Forschung sind regelmäßig in Vorträge, wie zum Beispiel auf der jährlich stattfindenden thematisch dazu fokussierten Wissenschaftskonferenz PartWiss, sowie in Publikationen (z.B. Theiler et al. 2025) eingeflossen.

Zuletzt stellt sich die Frage nach der gesellschaftlichen Trägerschaft in einem veränderten geopolitischen Kontext seit Beginn des Projekts Ariadne. Zunehmende internationale Polarisierung, Fokussierung auf einseitige Interessen sowie daraus resultierende existentielle und wirtschaftliche Ängste beeinflussen auch die Sicht der Bürgerinnen und Bürger auf die angemessene Priorisierung von internationalen Klimaschutzzielen. Klimapolitik birgt jedoch auch substantielle lokale Co-Benefits, die für sich genommen bereits eine ambitionierte Intervention rechtfertigen (Kalkuhl et al. 2026[12] b). Zusätzliche Forschung im Rahmen von Akzeptanzerhebungen und interaktiven Deliberationsformaten kann identifizieren, inwiefern sich diese Co-Benefits auch für ein höheres öffentliches Bekenntnis zur Klimapolitik hebeln lassen.

Literaturangaben

Edenhofer, O., Eydam, U., Heinemann, M., Kalkuhl, M., Moretti, N. (2025a): Rechtfertigt Klimapolitik eine Erhöhung der Verschuldung? Plädoyer für eine grün-goldene Regel. Perspektiven der Wirtschaftspolitik, 26(2), S. 220–233. DOI: 10.1515/pwp-2025-0010

Edenhofer, O., Eydam, U., Heinemann, M., Kalkuhl, M., Moretti, N. (2025b): A green-golden rule for climate policy. SSRN working paper. URL: https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5119380

Hänsel, M. C., Kellner, M., Franks, M., Gruner, F., Kalkuhl, M., Knopp, F., Edenhofer, O. (2025): Lessons learned from the German double whammy: The importance of price incentives and targeted compensation for the design of energy and climate policy. Review of Environmental Economics and Policy, 19(1), 131-137.

Kalkuhl, M., Kellner, M., Peichl, A., Rütten, K., Windsteiger, L. (2026a): Preferences And Willingness To Pay For Climate Policy Mixes. SSRN working paper. URL: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.6167946

Kalkuhl, M., Peichl, A., Eydam, U., Heinemann, M., Kellner, M., Krug, M., Moretti, N., Rütten, K., Treichel-Grass, K., Windsteiger, L., Wolf, I. (2026b): Neue Strategien für Legitimität und Akzeptanz von Klimapolitik. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Kalkuhl, M., Kellner, M., Kögel, N., Stern, L. (2024a): Pareto-improving climate policy with heterogeneous abatement costs in the building sector. In: CEPA Discussion Papers (82). DOI: 10.25932/publishup-66606.

Kalkuhl, M., Kellner, M., Rütten, K., Flinner, S., Schenk, A., Edenhofer, O. (2024b): CO_2-Bepreisung im Gebäudesektor: Gezielte Entlastung durch ein Gebäudeklimageld schaffen. MCC-Arbeitspapier. URL: https://www.pik-potsdam.de/members/mkalkuhl/gebaeudeklimageld/2024_mcc_klimapolitikaktuell_gebaudeklimageld_november2024.pdf/@@download/file/2024_MCC_Klimapolitikaktuell_Geba%CC%88udeklimageld_November2024.pdf

Krug, M., Ohlhorst, D., Zapata, A. (2025): Sozialer Kompass für die Klimapolitik? Energiearmut im Fokus Nationaler Energie- und Klimapläne. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, (75)10, S. 52-57.

Kellner, M., Peichl, A., Rütten, K., Treichel-Grass, K., Kalkuhl, M. (2026): Zwischen Kosteneffizienz und Verteilungskonflikten: Leitkonzepte für zielkonforme und gesellschaftlich tragfähige Klimapolitik. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2026.03

Konc, T., Steckel, J. C., Edenhofer, J., Ewald, J., Sterner, T. (in Vorb.): The political consequences of energy price shocks - Evidence from Germany

Kramer, N., Konc, T., & Steckel, J. C. (in Vorb.): Exposure to Climate Policy Costs and Public Backlash: Evidence from Germany

Lettow, F., Zeller, M.-L., Knopf, B. (2026). Analyse der Klimasozialpläne der EU-Mitgliedstaaten. URL: https://zukunft-klimasozial.de/wp-content/uploads/2026/06/SCP-Analyse_DE.pdf

Treichel-Grass, K., Wolf, I., Rütten, K., Kellner, M., Hoff, L., Steidle, D. (2025): Report: Bürgerperspektiven auf Finanzierungsfragen und Verteilungsgerechtigkeit von Klimapolitik – Ergebnisse der Ariadne Bürgerkonferenz 1./2. Juni 2024. In: ARIADNE. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Treichel-Grass, K. (2026): Finanzierung. Ergebnisse der Ariadne-Bürgerdeliberation 2023-26. Der Gipfel - Zeitung für den Wandel, Kopernikus-Projekt Ariadne.

Theiler, L., Semrau, J., Acksel, B., Fischer, F., Gaertner, W., Nuske, J., Teichel-Grass, K., & Vasilyeva, Z. (2025): Dimensionen wissenschaftlicher Wirkungen transdisziplinärer und partizipativer Forschung: Impuls für ein breites Wirkungsverständnis. GTPF. https://doi.org/10.5281/zenodo.17532243

ARBEITSPAKET 3: EU: ENERGIESICHERHEIT, KLIMANEUTRALITÄT UND (DE-)GLOBALISIERUNG

Autorinnen und Autoren: *Simon Feindt (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Michael Pahle (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Johannes Brehm, Matthias Duwe (Ecologic Institute), Nick Evans (Ecologic Institute), Annika Gillich (Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung), Henri Gruhl (RWI Essen), Jana Nysten (Stiftung Umweltenergierecht), Darius Sultani (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)*

1. Hintergrund

Die Veränderungen der geopolitischen Umstände der letzten Jahre erfordern eine Betrachtung der europäischen Energie- und Klimapolitik in einem breiteren Politikgefüge. So widmete sich das Arbeitspaket "Europa und Green Deal" energie- und klimapolitischen Fragen im Rahmen einer sich verändernden Weltordnung innerhalb eines Zieldreiecks aus Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Klimaschutz. Daher hat sich die Forschung auch auf angrenzende Politikbereiche und -themen wie Wettbewerbsfähigkeit, Verteilungswirkungen und industrielle Resilienz ausgerichtet. Forschungsleitend waren hier vor allem drei Stränge: Erstens, wie reagiert die europäische Klima- und Energiepolitik kurzfristig auf Energiekrisen und Versorgungssicherheitsrisiken, ohne die Langfristziele zu gefährden und gesellschaftliche Akzeptanz zu verlieren? Zweitens, was bedeutet eine mögliche Erosion der globalisierungsbasierten Weltordnung für Technologiewettbewerb, Industrie- und Infrastrukturstrategien sowie internationale Kooperation? Drittens, wie sieht ein robuster Rahmen für die Zeit nach 2030 aus, welche institutionellen Reformen und Governance-Arrangements sind dafür nötig und wie kann Kohlenstoffdioxidentnahme (CDR) als weitere Säule der europäischen Klimapolitik integriert werden?

2. Stand der Dinge

Heute steht die europäische Transformation in einem Zwischenstadium: Die 2030-Ziele werden durch ein umfassendes Fit-for-55-Paket begleitet und scheinen grundsätzlich in Reichweite. Für 2040 ist eine Zwischenetappe formuliert worden, während das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2050 weiterhin besteht. Es zeigen sich jedoch deutliche Lücken bei der Ausgestaltung: Die vollständige und konsistente Umsetzung in den Mitgliedstaaten stockt und die Governance-Architektur für die Zeit nach 2030, insbesondere für das neue 2040-Ziel, ist noch nicht ausbuchstabiert. Weiterhin gilt es, die Balance zwischen Klimaambition, industrieller Wettbewerbsfähigkeit, Versorgungssicherheit und sozialer Abfederung zu finden. Die Transformation ist damit institutionell stark vorgeprägt, politisch und ökonomisch aber noch keineswegs gesichert. Genau hier setzte das Arbeitspaket mit Analysen zu Instrumenten, Governance und der Einbettung in andere Politikfelder an.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Ariadne ist als nationales Projekt zu einem Instrument der politischen Debatten und Meinungsbildung der EU-Klimapolitik geworden, indem es konsequent und kontinuierlich den Austausch auf europäischer Ebene forcierte. Zentrale Erfolgsfaktoren waren die stakeholderorientierte Ausgestaltung, langfristige Projektstrukturen und regelmäßige Dialogformate, wie die jährliche Ariadne@Brussels-Konferenz oder das AriadneEuropa@Berlin-Format. Mit bis zu 200 Gästen aus Forschung, Politik, Zivilgesellschaft und Wirtschaft erzielten die Formate auf nationaler und EU-Ebene eine beachtliche Reichweite. Somit konnte das Arbeitspaket Debatten zur Ausgestaltung von Politikinstrumenten, insbesondere in den Bereichen Emissionshandel (ETS), CO_2-Entnahme (CDR), soziale Fairness, Governance und Industrie prägen.

ETS

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung des europäischen Emissionshandel (EU ETS) hatten substanziellen Einfluss auf dessen Reformprozess und die folgenden Debatten:

1. Der Beschluss zum ETS 2 (Wärme & Verkehr) fiel in die Ariadne-Projektlaufzeit. Die CO_2-Bepreisung wird zum zentralen klimapolitischen Instrument für die Sektoren Verkehr und Gebäude in der Europäischen Union. Ariadnes Arbeiten trugen hier zu Debatten der Ausgestaltung des Systems (Zachmann et al., 2021), des begleitenden Klimasozialfonds (Görlach et al., 2022; Pahle, 2023) sowie zukünftiger Preisentwicklungen (Günther et al., 2025) bei, und wurden für direkte wissenschaftliche Beratung von Entscheidungstragenden genutzt. Die Bedeutung der Arbeiten wird dadurch unterstrichen, dass das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) die einzige wissenschaftliche Institution war, die beratend zum Bericht des Chefverhandlers zur Position des EU-Parlaments zur Reform des ETS beisteuerte.
2. Zur Debatte um mögliche Spekulation von Finanzmarktakteuren im ETS hat das Projekt einen Artikel (Quemin & Pahle, 2023) veröffentlicht. Das Papier zeigt, dass Finanzmarktakteure zwar wichtige Funktionen im Emissionshandel erfüllen. Übermäßige Spekulation kann den Markt allerdings schädigen, weshalb ein systematisches Monitoring nötig ist. Die Financial Times berichtete und PIK-Autor Michael Pahle wurde als Berater für den europäischen Finanzmarktregulierer (ESMA) bestellt.
3. Ein im Projekt veröffentlichter Artikel (Pahle et al., 2025a) mit der Kernthese, dass die schrittweise Reduzierung der CO_2-Zertifikate auf null bis zum Jahr 2040 das EU-Emissionshandelssystem grundlegend verändern wird, hat maßgeblich die Debatte zum sogenannten „ETS-Endspiel" initiiert, und u.a. die EU-Kommission zur Durchführung einer weiterführenden Studie bewogen. Das "Endspiel" im ETS bezeichnet den Zeitpunkt, an dem die jährliche Emissionsobergrenze rechnerisch auf null sinkt und keine neuen Zertifikate mehr ausgegeben werden. Ab diesem Zeitpunkt müssen Unternehmen ihre verbleibenden Emissionen grundsätzlich aus ihrem angesparten Zertifikatebestand decken. Als mögliche Reaktionen auf das Endspiel kommen vor allem eine Streckung des Cap-Pfads (d.h. langsamere Absenkung) sowie die Integration permanenter CO_2-Entnahmen in das ETS in Betracht. Die Arbeiten zum Emissionshandel sind explizit in mehrere Stellungnahmen in Expertenanhörungen im Bundestag, Berichte von Sachverständigenräten und Meinungsbeiträgen eingeflossen, sowie vielfach in der Berichterstattung deutscher und internationaler Leitmedien (Spiegel, FAZ, DLF) aufgegriffen worden. Die Ergebnisse der Workshops zum ETS bei den Ariadne@Brussel-Konferenzen, vor allem die Zusammenstellung möglicher Preisentwicklungen, wurden von Stakeholdern (z.B. BBVA und ERCST State of the ETS Report) in eigenen Analysen weiterverwendet.

CDR

Das Arbeitspaket beschäftigte sich zudem mit der sinnvollen Integration von CO_2-Entnahmen (Carbon Dioxide Removal, CDR) in die EU-Klimapolitik sowie den nötigen Anreizmechanismen für den Aufbau von permanenter CDR- Infrastruktur (Sultani et al., 2024). Ariadne formulierte eine langfristige politische Vision, um das ETS schrittweise von einem reinen Emissionsmarkt in einen Entnahmemarkt zu verwandeln und damit netto-negative Emissionsziele für ein effektives Overshoot-Management zu verwirklichen. Die aus einer ETS-Integration resultierenden CDR-Mengen- und EU ETS-Preiseffekte hängen maßgeblich vom zukünftigen Kostenverhältnis zwischen Minderungsoptionen emissionsintensiver Industrien und den Kosten der CO_2-Entnahme ab (Sultani et al., 2026).

Konkrete ökonomische Fragen der CDR-Integration werden jedoch vom gewählten „Andockpunkt" von Entnahmezertifikaten im System geprägt – naheliegende Optionen hierfür wären die Marktstabilitätsreserve (MSR) oder das ETS-Cap (Pahle, 2026; Best et al., 2026, Pahle et al., 2026).

Den Auftakt der erfolgreichen Kommunikationsstrategie zu diesen Themen bildete ein Event in Kooperation mit der NGO Carbon Gap in Brüssel 2024, das einen direkten Austausch zwischen Forschung und Praxis ermöglichte und in den darauffolgenden Ariadne@Brussels Workshops fortgesetzt wurde. Diskutiert wurde, wie eine kosteneffiziente Integration von CO_2-Entnahmen bei gleichzeitiger Wahrung der ökologischen Integrität des ETS gestaltet werden kann und welche Maßnahmen und Förderpolitiken den kurzfristigen Markthochlauf innovativer CDR-Methoden unterstützen können. Auch mit der Europäischen Kommission hat sich ein regelmäßiger Austausch entwickelt. Besonders deutlich zeigt sich die gelungene Wissenschaftskommunikation im Bericht des European Scientific Advisory Board on Climate Change zum CDR-Hochlauf, der Sultani et al. (2024) 38-mal zitiert, sowie in der direkten Referenz des Impact Assessments der EU Kommission zur ETS-Reform auf dieselbe

Publikation.

Soziale Fairness, Kompensation und Akzeptanz europäischer Klimapolitik

Das Projekt Ariadne hat die Kompensationsdebatte im ETS 2-Kontext durch Publikationen und Stakeholderaustausche sowie Konferenzen inhaltlich mitgeprägt. Die Analysen des Arbeitspakets "Europa und Green Deal" zeigen, dass zwar eine gezielte Verwendung der Einnahmen die Verteilungswirkung progressiv gestalten kann (Görlach et al. 2022), aber die Kostenverteilung vor Kompensation über die Zeit regressiver zu werden droht (Feindt et al., 2025). Zudem kann das Adressieren von Fairnessbedenken allein die Akzeptanzlücke zwischen grundsätzlicher Unterstützung für Klimaschutz und der Bereitschaft, konkrete Kosten zu tragen (Brehm & Gruhl, 2024), nicht vollständig schließen (Pahle et al., 2025b). Akzeptanz hängt weniger von der finanziellen Verteilung ab als von gesellschaftlichen Vorstellungen, wer durch welche Maßnahmen unterstützt oder gefördert wird. Dies hat direkte Folgen für die politische Durchsetzbarkeit von Kompensationsmaßnahmen und die Kommunikation dazu (Hankeln et al., 2026).

Ariadne@Brussels hat dazu beigetragen, die Diskussion über Kompensation im Kontext des EU ETS 2 zu präzisieren: weg von der Frage, ob Ausgleichsmaßnahmen notwendig sind, hin zu einer evidenzbasierten Debatte darüber, wie sie ausgestaltet werden müssen, um Wirksamkeit und Akzeptanz langfristig zu sichern. Die Ergebnisse dienten als Grundlage für die Beratung des EU-Parlaments, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie von Interessenverbänden.

Klimaschutzgovernance für 2040

Im Zeichen der sich verändernden politischen Ausrichtung der EU-Politik wurde ab 2024 die Forderung nach einer Vereinfachung auch für die Governance der Klimapolitik explizit im Arbeitsprogramm der Europäischen Kommission verankert. Auf Grundlage einer Analyse des bestehenden Systems und dem Stand der Umsetzung wurden im Arbeitspaket konkrete Optionen entwickelt, wie die Governance zur Erreichung der Klimaziele vereinfacht werden könnte und gleichzeitig die Zielerreichung wahrscheinlicher wird (Evans & Duwe, 2025). Erstmals wurden in dieser Arbeit systematisch die aktuellen institutionellen und administrativen Prozesse der EU-Klimagovernance untersucht und konkrete Optionen für effizientere Planung, Berichterstattung und Fortschrittsüberwachung entwickelt. Zentrale Erkenntnisse flossen frühzeitig in politische und fachliche Austauschprozesse auf EU-Ebene ein, unter anderem über Stakeholder-Beiträge zum ersten Workshop zur Revision der Governance-Verordnung (EU) 2018/1999 sowie in Gespräche mit EU-Institutionen. Darüber hinaus dienten die Ergebnisse als technischer Input für Workshops von zivilgesellschaftlichen Organisationen und trugen zur inhaltlichen Vorbereitung im Vorfeld des Call-for-Evidence-Prozesses für die Governance-Verordnung bei.

Industrie

Das Arbeitspaket "Europa und Green Deal" analysierte zudem die Auswirkungen der europäischen Klimapolitik auf den Industriesektor und fokussierte dabei auf die regulatorische Flankierung des industriellen Strukturwandels sowie das Spannungsfeld zwischen Klimaschutzambition und internationaler Wettbewerbsfähigkeit. Dabei spielen sowohl Instrumente zur Vermeidung von Carbon Leakage eine große Rolle (Fahl et al., 2021; Kittel & Fahl, 2025), als auch die Veränderung der industriell-ökonomischen Geographie, also die Verlagerung von Standorten und Wertschöpfungsketten innerhalb Europas (Osorio et al., 2025). Ein zweiter Fokuspunkt war die Sicherstellung der Kohärenz der europäischen Industriepolitik unter steigender Klimaambition im Kontext des Clean Industrial Deals (Martini et al, 2024) und des Industrial Accelerator Acts.

Die Kernergebnisse konnten im Rahmen wiederkehrender Veranstaltungen mit Stakeholdern aus nationaler und europäischer Politik, Industrie und Forschung erfolgreich disseminiert werden. Forschende des AP3 wurden regelmäßig als Expertinnen und Experten zu Industriefragen für politische Entscheidungsträgende und die breitere Öffentlichkeit geladen (siehe Workshop-Impuls zu Klimaschutzverträgen auf Einladung des BMWE, Kommentare im MDR (Geißler, 2025) oder im Tagesspiegel Background Energie & Klima (Reçber, 2026).

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Mit dem Übergang in die Phase der Architekturgestaltung nach 2030 verschiebt sich der Fokus der Klimapolitik von den „low-hanging fruits" der Emissionsminderung hin zu den technologischen und politischen „harten Nüssen". Ein zentraler roter Faden für die künftige Forschung liegt daher in der Analyse der Verteilungskämpfe bei den schwer dekarbonisierbaren Bereichen, wie zum Beispiel in der Chemieindustrie. Hier stellt sich die grundlegende Frage, wie die Governance der 2040-Architektur konzipiert sein muss, um diese tiefgreifenden Transformationsbedarfe moderieren zu können. Fokus wäre hier die Ausgestaltung der Sektorflexibilität, vor allem an der Schnittstelle zwischen dem ETS 1 und dem Landnutzungssektor (AFOLU). Um diese Architektur abzusichern, muss die EU-Ebene gestärkt und enger mit der internationalen Ebene verzahnt werden. Hierbei ergeben sich kritische Klärungsbedarfe zu Artikel 6 des Pariser Abkommens: Welche qualitativen Standards müssen Kooperationen erfüllen, welche Emissionsmengen sind für die EU-Ziele anrechenbar und welche Partner sind strategisch sinnvoll? Parallel dazu muss die künftige Funktion des CO_2-Ausgleichsmechanismus (CBAM) im Kontext des Auslaufens der kostenlosen Zuteilungen präzisiert werden. Es bleibt zu erforschen, wie EU-Außeninteressen über Foren wie Klimaklubs, Freihandelsabkommen (FTAs) oder spezifische Belohnungsfonds wirksam mit globalen Klimazielen verknüpft werden können.
Ein weiteres Forschungsfeld betrifft die langfristige Glaubwürdigkeit des europäischen Emissionshandelssystems. Dies erfordert eine Einbettung in eine breitere Industriepolitik, die den Clean Industrial Deal flankiert. Eine entscheidende Frage wird dabei sein, wie positive Pfadabhängigkeiten geschaffen werden können, damit Interessengruppen wie Haushalte mit Anspruch auf Klimageld oder Pionie-

re der Industrie den Fortbestand des ETS aktiv unterstützen.

Die Etablierung der CO_2-Entnahme (CDR) als dritte Säule der Klimapolitik wirft zudem komplexe regulatorische und finanzielle Fragen auf. Es gilt, das „CDR Sequencing" und mögliche Arbitrage-Vektoren zwischen Entnahmearten und dem ETS zu definieren. Dabei sollte die Forschung sowohl beachten, dass Landsenken auch zu Netto-Emittenten werden können, als auch, dass es Leakage-Probleme zwischen Sektoren, etwa Biomasse und BECCS geben kann. Zudem besteht die Notwendigkeit, den Fokus der Forschung auf private Finanzierungsoptionen zu lenken und zu klären, wie öffentliche Mittel (z. B. über eine Industrial Decarbonisation Bank) als Hebel für privates Kapital fungieren können.

Konflikte bei Verteilungs- und Gerechtigkeitsfragen auf Haushaltsebene (ETS 2, SCF) und sektoraler Ebene sollten gleichermaßen betrachtet werden. Zentral ist die Frage, wie die Kluft zwischen ökonomisch effizienter und politisch machbarer Klimapolitik überbrückt werden kann. Hierfür bedarf es weiterer Forschung an der Schnittstelle von Klima- und Verhaltensökonomik und die Verknüpfung mit der Soziologie. Während die Reaktionen der Industrie auf Preissignale gut erforscht sind, fehlen im ETS 2 detaillierte Erkenntnisse darüber, wie Haushalte darauf reagieren (Investitionen und Energieverbrauch) und wie Gruppenidentitäten sowie kurzfristige Empörung langfristige Akzeptanz beeinflussen.

Literaturangaben

Best, F., Pahle, M., Sultani, D., Günther, C., Herten, M., Richstein, J., Edenhofer, O. (2026): Dossier: A Safety Valve for the EU ETS Endgame – Containing Prices through Carbon Dioxide Removal. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://doi.org/10.48485/pik.2026.15

Brehm, J., Gruhl, H. (2024): Leveraging machine learning to understand opposition to environmental tax increases across countries and over time. Environmental Research Letters, 19(8), 084035, https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad5e9d

Evans, N., Duwe, M. (2025): Smarter, simpler, more effective: Options to improve EU transition policy. Ecologic Institute, Berlin, https://www.ecologic.eu/20251

Fahl, U., Hufendiek, K., Kittel, L., Siegle, J., Pahle, M., aus dem Moore, N., Gruhl, H., Nysten, J., Kahl, H., Sach, T., Schimmel, M., Kühner, A.-K. (2021): Kurzdossier: Industriewende – Wettbewerbseffekte und Carbon Leakage. Neue Politikmaßnahmen im Zuge des Europäischen Green Deal. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/publikation/kurzdossier-carbonleakage/

Feindt, S., Lettow, F., Missbach, L., Ward, H. (2025): What Drives The Distributional Impacts of Carbon Pricing? EAERE conference draft, Bergen.

Geißler, R. (2025): Was für die Klimaneutralität bis 2045 spricht – und was dagegen. MDR AKTUELL, https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/politik/klima-schutz-neutralitaet-ziele-konferenz-deutschland-eu-100.html

Görlach, B., Jakob, M., Umpfenbach, K., Kosch, M., Pahle, M., Konc, T., aus dem Moore, N., Brehm, J., Feindt, S., Pause, F., Nysten, J., Abrell, J. (2022): A Fair and Solidarity-based EU Emissions Trading System for Buildings and Road Transport. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/publikation/a-fair-and-solidarity-based-eu-emissions-trading-system-for-buildings-and-road-transport/

Günther, C., Pahle, M., Govorukha, K., Osorio, S., Fotiou, T. (2025): Carbon prices on the rise? Shedding light on the emerging second EU Emissions Trading System (EU ETS 2). Climate Policy, 26(1), 92–103, https://doi.org/10.1080/14693062.2025.2485196

Hankeln, L., Brehm, J., Gruhl, H., Edenhofer, J. (2026): Green Transition, Brave New Feminine World? Masculinity and the Demand for Climate Compensation. OSF Pre-Analysis Plan, https://osf.io/xyjbk

Kittel, L., Fahl, U. (2025): Carbon Leakage Protection—Model-Based Comparison of the Macroeconomic Effects of Different Instruments. Sustainability, 17(6), 2579, https://doi.org/10.3390/su17062579

Martini, L., Görlach, B., Kittel, L., Sultani, D., Kögel, N. (2024): Between climate action and competitiveness: towards a coherent industrial policy in the EU - Principles for an EU industrial policy for climate action. Ecologic Institute, Berlin, https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2024/30021-Ariadne-EU-Industrial-Policy.pdf

Osorio, S., Best, F., Sultani, D., Pahle, M. (2025): Policy crunch points to decarbonising European steel. Research Square preprint, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7811341/v1

Pahle, M. (2023): Pricing carbon for a fair and effective low-carbon road transport transition in the EU. One Earth, 6, 7-10, https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.12.007

Pahle, M. (2026): Ein Kompass für die Reform des europäischen Emissionshandels. Wirtschaftsdienst, 106(5), 320–324, https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2026/heft/5/beitrag/ein-kompass-fuer-die-reform-des-europaeischen-emissionshandels.html

Pahle, M., Quemin, S., Osorio, S., Günther, C., Pietzcker, R. (2025a): The emerging endgame: The EU ETS on the road towards climate neutrality. Resource and Energy Economics, 81, 101476, https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2024.101476

Pahle, M., Edenhofer, O., Tietjen, O., Osorio, S., Günther, C. (2025b): Staying the course in turbulent times – Insights on the current state and ways forward for the EU's climate, energy and finance policy architecture. Ariadne-Background, Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/en/publication/background-staying-the-course-in-turbulent-times/

Pahle, M., Sultani, D., Zachmann, G. (2026): Defragmenting European Union climate policy, Policy Brief 03/2026, Bruegel, https://doi.org/10.64153/VXJJ9392

Quemin, S., Pahle, M. (2023): Financials threaten to undermine the functioning of emissions markets. Nature Climate Change, 13, 22–31, https://doi.org/10.1038/s41558-022-01560-w

Reçber, S. (2026): Industrial Accelerator Act: So reagieren Experten auf die Buy-European-Pläne. Tagesspiegel Background Energie & Klima, https://background.tagesspiegel.de/energie-und-klima/briefing/so-reagieren-experten-auf-die-buy-european-plaene

Sultani, D., Osorio, S., Günther, C., Pahle, M., Sievert, K., Schmidt, T. S., Steffen, B., Edenhofer, O. (2024): Sequencing Carbon Dioxide Removal into the EU ETS. CESifo Working Paper No. 11173, https://www.ifo.de/en/cesifo/publications/2024/working-paper/sequencing-carbon-dioxide-removal-eu-ets

Zachmann, G., Edenhofer, O., Kosch, M., Pahle, M. (2021): A whole-economy carbon price for Europe and how to get there. Policy Brief 06/2021, Bruegel, https://www.bruegel.org/policy-brief/whole-economy-carbon-price-europe-and-how-get-there

ARBEITSPAKET 4.1 & 4.3: GOVERNANCE IM MEHREBENEN-SYSTEM

Autorinnen und Autoren: *Christian Flachsland (Hertie School), Jörg Kemmerzell (TU Darmstadt), Michèle Knodt (TU Darmstadt), Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht), Sabine Schlacke (Universität Greifswald), Julia Sulerz (Hertie School), Eva-Maria Thierjung (Universität Greifswald)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket "Governance" fokussierte die Handlungsfähigkeit des Staates in der Energie- und Klimapolitik. Das Erreichen des Ziels der Klimaneutralität bis 2045 erfordert eine fortlaufende Entwicklung und Nachsteuerung der rechtlichen Rahmenbedingungen und Instrumentenmixe. Damit werden hohe Anforderungen an staatliche Steuerung im föderalen Mehrebenensystem gestellt. Vor diesem Hintergrund war die Leitfrage des Arbeitspakets: Wie müssen Institutionen, Prozesse und Akteurskonstellationen gestaltet und koordiniert werden, um im Mehrebenensystem EU, Bund, Länder und Kommunen mit der erforderlichen Geschwindigkeit den Instrumentenmix auf Klimaneutralität auszurichten? Die zentrale These des Arbeitspakets ist, dass staatliche Handlungsfähigkeit in der Klima- und Energiepolitik weniger ein Problem unklarer Zuständigkeiten für die Aufgabe Klimaschutz ist als eines adäquater Koordination dieser Aufgabe im föderalen Mehrebenensystem (Knodt et al. 2022; Flath et al. 2023; Schlacke et al. 2025a; Quittkat et al. 2026).

Angesichts der noch wenig entwickelten Forschung in diesem Gebiet zielte das Arbeitspaket darauf ab, wissenschaftliche Grundlagenforschung und angewandte Policy-Analysen jeweils weiterzuentwickeln und miteinander zu verschränken. Mehrere der Studien haben einen Pilotcharakter, z.B. zur Entwicklung eines analytischen Rahmens für die Analyse von Klimainstitutionen (Zwar et al., 2023). Die Zusammenstellung des Forschungsteams erlaubte die innovative Kombination von juristischer und politikwissenschaftlicher Expertise in teils interdisziplinären Analysen.

Es wurden drei Forschungsschwerpunkte gesetzt:

1. Erstens standen die im Projektverlauf teils neu beschlossenen und mehrfach novellierten Klimaschutzgesetze auf EU-, Bundes- und Länderebene im Fokus der Analyse.
2. Zweitens wurde die institutionelle Ordnung und Koordination der Steuerung von Energie- und Klimapolitik im föderalen Mehrebenensystem sowohl auf der horizontalen Ebene (insbesondere im Bund) als auch vertikal zwischen EU, Bund, Ländern und Kommunen in den Blick genommen
3. Drittens wurden konzeptionelle und angewandte Fragen der Planung und Steuerung von Instrumentenmixen untersucht.

2. Stand der Dinge

Entwicklung der Transformation zur Klimaneutralität aus politik- und rechtswissenschaftlicher Perspektive

Seit Beginn des Ariadne-Projektes im Jahr 2020 sind der Weg zur Klimaneutralität und der internationale und nationale politische Kontext durch eine hohe Dynamik geprägt. Mit der Verabschiedung von Klimaschutzgesetzen auf EU-Ebene (2021), auf Bundesebene (2019) und in den deutschen Bundesländern (seit 2013) wurde die Governance der deutschen Klimapolitik zunehmend formalisiert und strukturiert, wobei etwa das Bundes-Klimaschutzgesetz (B-KSG) bereits zweimal novelliert wurde. Angesichts der komplexen föderalen Kompetenzordnung stellen sich zunehmend Fragen der Koordination zwischen Bund, Ländern und Kommunen.

3. Zentrale Erkenntnisse des APs

3.1 Klimaschutzgesetzgebung in EU, Bund, und Ländern

Das Europäische Klimaschutzgesetz wurde 2021 als zentraler Baustein der Reformen des „Green Deal" verabschiedet. Aufbauend auf der Governance-Verordnung gestaltet es den prozeduralen Rahmen zur Planung und Evaluierung der EU- sowie nationalstaatlichen Klimapolitik vor allem im Form von Berichtspflichten und Monitoringmaßnahmen weiter aus. Mit diesem „weichen" Steuerungsansatz versucht die EU, die Transformation zu steuern, ohne über eine umfassende materielle Kompetenz im zentralen Bereich der Energiepolitik zu verfügen (Schlacke et al. 2021a,b; Schlacke 2022).

Auf Bundesebene wurden die Wirkungen des bundesweiten Klimaschutzgesetzes (B-KSG) aus rechts- und politikwissenschaftlicher Perspektive analysiert, unter anderem die Begründung des Bundesverfassungsgerichts mit Blick auf "intertemporale Freiheitssicherung" (Fietze et al. 2021, Schlacke 2021). Die Novelle des B-KSG in 2024 ersetzt die sektorspezifische Nachsteuerungspflicht durch eine sektorübergreifende, mehrjährige und ex-ante ausgerichtete Gesamtrechnung – ein konzeptionell sinnvoller Ansatz, dessen Ausgestaltung aber nicht wirksam erfolgt ist (Müller, 2023). Die Forschung des Arbeitspakets ergab, dass die jüngsten Novellierungen eine bessere Verzahnung der nationalen Planungspflichten des B-KSG mit den unionsrechtlichen Planungspflichten versäumten (Flachsland et al. 2024). Die notwendige Koordination wird bislang nicht durch eine eigenständige „Klimaverwaltung", d.h. ein spezielles Organisationsrecht, adressiert. Vielmehr wird Klimaschutz und -anpassung als Querschnittsaufgabe in die allgemeine Fachverwaltung integriert (Müller und Schlacke 2025). In einem internationalen Vergleich wurde deutlich, dass das B-KSG das klimapolitische Agenda-Setting, die Transparenz, die Accountability und das staatliche Commitment befördert hat (Zwar et al. 2023, 2026).

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschwerpunkts wurden im Rahmen verschiedener formeller und informeller Beratungstätigkeiten der AP-Mitglieder in politische Entscheidungsprozesse sowie auch in die mediale Diskussion eingespeist, z.B. in Stellungnahmen zu Gesetzgebungsverfahren sowohl auf Landes- als auch Bundesebene (Stellungnahme von Prof. Schlacke im Rahmen des Öffentlichen Fachgesprächs des Ausschusses u.a. für Umwelt zu umwelt- und naturschutzrechtlichen Aspekten des Gesetzentwurfs der Bundesregierung Entwurf eines Infrastruktur-Zukunftsgesetzes (BT-Drucksache 21/4099; Anhörung von Prof. Schlacke im Agrarausschuss zum Klimaverträglichkeitsgesetz Mecklenburg-Vorpommern sowie zum Landesplanungsgesetz (Drucksache 8/3387)).

3.2 Institutionelle Ordnung und Koordination im Mehrebenensystem

Ein zentrales Themenfeld des Arbeitspakets war die Re-Organisation der horizontalen Kompetenzverteilung und Koordination (Flachsland et al. 2021, Flachsland & aus dem Moore 2021). Ausgangspunkt ist die Problemdiagnose, dass parteipolitische Konkurrenz und das stark ausgeprägte Ressortprinzip eine effektive Zusammenarbeit zwischen Bundesministerien erschweren (siehe auch Schlacke et al. 2025a). Die dominierende Praxis negativer Koordination, bei der Ressorts Vorlagen vor allem auf ihre Vereinbarkeit mit eigenen Interessen prüfen, begünstigt Blockaden und führt zu Kompromissen lediglich auf dem kleinsten gemeinsamen Nenner; während kohärente klimapolitische Strategien in einem Modus positiver Koordination weder entwickelt noch gefördert werden. Die zwei zentralen Optionen zur Reform der Kompetenzverteilung waren (i) eine stärkere Koordination der Fachressorts durch das Bundeskanzleramt (BKAmt) sowie (ii) der Ausbau des damaligen Bundesumweltministeriums oder des Bundeswirtschaftsministeriums zu einem starken Klimaschutzministerium mit deutlichem Zuwachs an Kompetenzen, wofür sich letztlich von der damaligen Bundesregierung entschieden wurde.

Als zentrale Handlungsoptionen für die bessere Koordination zwischen Bund, Ländern und Kommunen identifizieren wir die Stärkung strategischer Koordinationsgremien sowie die gezielte Behebung der Ressourcenknappheit auf kommunaler Ebene. Der Beitrag von Flachsland et al. 2021 und ein begleitender FAZ Artikel (Flachsland & aus dem Moore 2021) etwa wurde in den Koalitionsverhandlungen im Jahr 2021 über den Zuschnitt der klimpolirischen Kompetenzordnung auf Bundesebene (mit u.a. letztlicher Einrichtung des BMWK) von den handelnden Akteuren aktiv aufgegriffen und diskutiert. Das Produkt "Mehr Kooperation wagen! Wasserstoff-Governance im deutschen Föderalismus" (Knodt et al. 2022) wurde in einem ausführlichen redaktionellen Beitrag in der Fachzeitschrift "Neue Energie" gefeatured (Hahn 2022).

Ein zweiter Schwerpunkt lag auf der planungsrechtlichen Flächensicherung für Windenergieanlagen an Land und Freiflächen-Photovoltaikanlagen (Schlacke & Thierjung 2023, Schlacke et al. 2025b, 2026). Hier wurde herausgearbeitet, dass die Regelungsimpulse durch RED III, WindBG und die Novellierung des § 2 EEG zwar bedeutende Schritte für den quantitativen Ausbau darstellen, zugleich aber das Verhältnis zwischen Bund, Ländern und Kommunen neu austarieren, mit einer Beschränkung landes-

rechtlicher Spielräume und einer ambivalenten Neuausrichtung der Regionalplanung (Schlacke et al. 2022, 2025b, 2026; Müller und Schlacke 2025; Schlacke und Plate 2026). Eine Stärkung der Raumordnung als Koordinationsinstrument sowie für die Förderung multifunktionaler Flächennutzungen könnte hier als strukturelle Antwort auf diese Konflikte dienen (Schlacke und Plate 2024). Die Ergebnisse des Arbeitspakets fanden Eingang in das wissenschaftliche Konzept zum Online-Dossier Energiepolitik der Bundeszentrale für politische Bildung (von Jörg Kemmerzell erstellt), in dem auch mehrere Artikel von KollegInnen u.a. auf Grundlage von Arbeiten im AP und des Ariadne-Konsortiums Artikel beigetragen haben (Kemmerzell und Junge 2026, Knodt 2026). Zudem wurden die Erkenntnisse im Rahmen verschiedener formeller und informeller Beratungstätigkeiten der AP-Mitglieder in politische Entscheidungsprozesse sowie auch in die mediale Diskussion eingebracht (bspw. durch den Vortrag von Prof. Schlacke „Zieldimension 1,5 Grad – die neue Klimazielarchitektur für unsere Energiepolitik" im Rahmen des Energieforum Mecklenburg-Vorpommern 2025 der Industrie- und Handelskammer Schwerin oder Äußerungen in überregionalen Nachrichtenmedien (so die Einordnung der nationalen Beschleunigungsmaßnahmen der Bundesregierung im Bereich EE-Ausbau seitens von Prof. Schlacke in der FAZ v. 12.4.2025).

3.3 Steuerung der Instrumentenmixe

Für die Ausgestaltung der politischen Planungsprozesse zur Bewertung und Reform von alternativen Instrumentenmixen wurde ein interdisziplinärer Analyserahmen entwickelt und illustrativ auf den Straßenverkehrssektor angewendet (Edmondson et al. 2022, 2025). Dabei wurde auch auf eine Reihe von Arbeiten zur öffentliche Unterstützung verschiedener Politikinstrumente zurückgegriffen (Levi et al. 2021, Levi et al. 2023) und im Anschluss die politischen und administrativen Treiber kommunaler Klimapolitik am Beispiel Wärmewende in den Blick genommen (Sulerz et al. 2026).

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Das Arbeitspaket hat in einem dynamischen Umfeld Pionierarbeit geleistet: In einem relativ wenig beforschten Bereich der deutschen Energie- und Klimapolitik wurden zum einen neue analytische Rahmen für zukünftige angewandte Governance-Analysen entwickelt, zum anderen wurden in einer Reihe von Analysen aktuelle Entwicklungen (z.B. Klimaschutzgesetze, ministerielle Re-Organisation, Osterpaket, Wasserstoffgovernance) aufgegriffen und mit Fokus auf die Entwicklung von Problemdiagnosen und problemadäquaten Handlungsoptionen bearbeitet.

Dennoch bleiben viele Fragen offen. Zum einen rücken mit dem Fortschritt der Transformation die bisher wenig erforschten Herausforderungen an den Governance-Rahmen auf Ebene der Kommunen immer stärker in den Blick (z.B. Wärmewende, lokale Infrastruktur für E-Mobilität). Zentrale Strukturelemente der Governance wie das Bundes-Klimaschutzgesetz werden fortlaufend angepasst und die Auswirkungen werden (z.B. Umstellung der Nachsteuerung im B-KSG von einer ex-post auf ex-ante Perspektive) fortlaufend wissenschaftlich begleitet, analysiert und bewertet.
Zum anderen sollte in zukünftiger Forschung die in Ariadne forschungsleitende Annahme der Klimaneutralität im Jahr 2045 als "gegebenes" politisches Ziel stärker endogenisiert werden: Welche Bevölkerungs- und Interessengruppen teilen dieses Ziel (nicht), welche Konfliktstrukturen prägen die Dynamik der Klima- und Energiepolitik und was bedeutet dies für eine effektive Governance im Mehrebenensystem? Die (Publikations-)Anreize für akademische Forschung in diesem Bereich lassen fraglich erscheinen, dass wissenschaftliche Analysen durchgängig eine angewandte Perspektive auf Problemanalyse und alternative Lösungsoptionen in den Blick nehmen, wie sie für die politische Praxis besonders relevant sind. Die Ariadne-spezifische Kombination solcher akademischen Grundlagenforschung mit der Entwicklung von im praktisch-politischen Raum möglichst anschlussfähigen Handlungsoptionen könnte ohne dezidierte Forschungsförderung voraussichtlich eine Lücke bleiben.

Literaturangaben

Edmondson, D., Flachsland, C., aus dem Moore, N., Koch, N., Koller, F., Gruhl, H., Brehm, J. (2022): Bewertung klimapolitischer Instrumentenmix-Pfade – Eine Anwendung auf leichte Nutzfahrzeuge in Deutschland. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Edmondson, D., Flachsland, C., aus dem Moore, N., Koch, N., Koller, F., Gruhl, H., Brehm, J. (2025): Anticipatory climate policy mix pathways: A framework for ex-ante construction and assessment applied to the road transport sector. Climate Policy, 25(3), 438–467.

Fietze, D., Scheuing, H., Müller, T. (2021): „Klimaschutz-Beschluss" und Klimaschutzgesetz – Die KSG-Novelle auf dem Prüfstand. Energie Recht (ER), 2021, 223 ff.

Flachsland, C., Levi, S. (2021): Germany's Federal Climate Change Act. Environmental Politics, 30(sup1), 118–140.

Flachsland, C., aus dem Moore, N. (2021): Wir brauchen ein Klima-Kanzleramt. Standpunkt. Frankfurter Allgemeine Zeitung (13.10.2021).

Flachsland, C., aus dem Moore, N., Müller, T., Kemmerzell, J., Edmondson, D., Görlach, B., Kalkuhl, M., Knodt, M., Knopf, B., Levi, S., Luderer, G., Pahle, M. (2021): Kurzdossier: Wie die Governance der deutschen Klimapolitik gestärkt werden kann. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Flachsland, C., Edenhofer, J., Zwar, C. (2024): Eine vertane Chance, aber keine Katastrophe. Die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Verfassungsblog, https://verfassungsblog.de/novelle-bundesklimaschutzgesetz/

Flath, L., Kemmerzell, J., Knodt, M. (2023): Hydrogen governance in Germany: A challenge for federal coordination. Regional & Federal Studies, https://doi.org/10.1080/13597566.2023.2232735

Gelinsky, C. (2025): Finden Klima- und Naturschutz nun zueinander? Frankfurter Allgemeine Zeitung (12.04.2025).

Hahn, M. (2022): Zusammenarbeit gefragt. Neue Energie, 5/2022, 56–60.

Kemmerzell, J., Junge, L. (2026): Ziele und Instrumente der Energiepolitik. Bundeszentrale für politische Bildung, https://www.bpb.de/themen/wirtschaft/energiepolitik/576233/ziele-und-instrumente-der-energiepolitik/

Knodt, M. (2026): Energiepolitik der Europäischen Union. Bundeszentrale für politische Bildung, https://www.bpb.de/themen/wirtschaft/energiepolitik/577941/energiepolitik-der-europaeischen-union/

Knodt, M. et al. (2022): Mehr Kooperation wagen! Wasserstoff-Governance im deutschen Föderalismus: Interterritoriale Koordination, Planung und Regulierung. Ariadne-Analyse, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoffgovernance-im-deutschen-foderalismus/

Levi, S., Wolf, I., Flachsland, C., Koch, N., Koller, F., Edmondson, D. (2021): Klimaschutz und Verkehr – Zielerreichung nur mit unbequemen Maßnahmen möglich. Ariadne-Analyse, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/publikation/klimaschutz-und-verkehr-zielerreichung-nur-mit-unbequemen-massnahmen-moeglich/

Levi, S., Wolf, I., Sommer, S. (2023): Geographische und zeitliche Unterschiede in der Zustimmung zu Klimaschutzpolitik in Deutschland. Ariadne-Analyse, Potsdam, https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-geographische-und-zeitliche-unterschiede-in-der-zustimmung-zu-klimaschutzpolitik-in-deutschland/

Müller, T. (2023): Rechtliche Stellungnahme zur Anhörung des Bundestags-Ausschusses für Klimaschutz und Energie zum Gesetzentwurf der Bundesregierung (BT-Drs. 20/8290, 20/8670) und Klimaschutzprogramm 2023 (BT-Drs. 20/8150), https://www.bundestag.de/resource/blob/975512/Stellungnahme_SV_Dr-_Thorsten_Mueller_Stiftung_Umweltenergierecht.pdf

Müller, T., Schlacke, S. (2025): § 207 Rn. 2. In: Kahl, W., Ludwigs, M. (Hrsg.): Handbuch des Verwaltungsrechts (HdbVwR), Band VII.

Quittkat, C. et al. (2026): Verteilnetze für den Wasserstoffhochlauf. Stand, Perspektiven und strategische Herausforderungen. Ariadne-Analyse (im Review-Prozess), Potsdam.

Schlacke, S. (2021): Fachbeitrag/Aufsatz. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 2021, 912 (915).

Schlacke, S. (2022): Fachbeitrag/Aufsatz. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 2022, 905 (907).

Schlacke, S. (2024): Stellungnahme im Rahmen der öffentlichen Anhörung zum Gesetzentwurf der Landesregierung (Drucksache 8/3387): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Landesplanungsgesetzes (LPlG) (22.02.2024).

Schlacke, S. (2025): Zieldimension 1,5 Grad – die neue Klimazielarchitektur für unsere Energiepolitik. Energieforum Mecklenburg-Vorpommern 2025, Industrie- und Handelskammer Schwerin (01.10.2025).

Schlacke, S. (2026): Stellungnahme (Ausschussdrucksache 21(16)105) im Rahmen des Öffentlichen Fachgesprächs des Ausschusses für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit zum Entwurf eines Infrastruktur-Zukunftsgesetzes (BT-Drs. 21/4099) (25.02.2026).

Schlacke, S. (2026): Stellungnahme und Anhörung im Agrarausschuss zum Klimaverträglichkeitsgesetz Mecklenburg-Vorpommern (11.03.2026).

Schlacke, S., Knodt, M., Müller, T., Ringel, M. (2021b): (Un)Fit for 55? Lehren aus der Implementation der Governance-Verordnung.

Schlacke, S., Köster, A., Thierjung, E.-M. (2021a): Fachbeitrag/Aufsatz. Europäische Zeitschrift für Wirtschaftsrecht (EuZW), 2021, 620 (626).

Schlacke, S., Plate, C. (2024): Multifunktionale Flächennutzung: Potentiale und Grenzen des Raumordnungsrechts. Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR), 2024, 323 ff.

Schlacke, S., Plate, C. (2026): § 9 Klimaschutzbezogene Anforderungen des EEG (§ 2 EEG). In: Schlacke, S., Wagner, G. (Hrsg.): Handbuch Klimarecht, S. 447 ff.

Schlacke, S., Thierjung, E.-M. (2023): Krisenbewältigung durch EU-Ratsverordnung zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien: Überbrückung durch Notfallrecht. EnK-aktuell, 2023, 01011.

Schlacke, S., Wentzien, H., Römling, J. (2022): Beschleunigung der Energiewende: Ein gesetzgeberischer Paradigmenwechsel durch das Osterpaket? Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 2022, 1577 ff.

Schlacke, S., Knodt, M., Müller, T., Flachsland, C., Findeisen, F., Kemmerzell, J., Maruschke, J., Plate, C., Sulerz, J., Thierjung, E.-M. (2025): Die Handlungsfähigkeit des deutschen Staates in der Klima- und Energiepolitik. Ariadne-Dossier, Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Schlacke, S., Plate, C., Thierjung, E.-M. (2025b): Beschleunigung des WEA-Ausbaus: Befund, Umsetzung, role model – eine Zwischenbilanz. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ), 2025, 441 ff.

Schlacke, S., Plate, C., Thierjung, E.-M. (2026): RED III" und seine Umsetzung in Deutschland: EU-rechtliches „Flächenmanagement" zugunsten des EE-Ausbaus. In: Institut für Umweltrecht (Hrsg.): Jahrbuch des österreichischen und europäischen Umweltrechts 2026 (im Erscheinen).

Sulerz, J., Flachsland, C., Findeisen, F. (2026): Urban climate leadership: A comparative case study of political dynamics and administrative capacity in German cities' heat transition. Manuscript.

Zwar, C., Edenhofer, J., Ruzelyte, V., Flachsland, C. (2023): Mapping variation in institutions for climate policymaking – Climate institutions in Germany, the United Kingdom, Sweden, and Australia. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Zwar, C., Edenhofer, J., Flachsland, C. (2026): Introducing and applying the Climate Institutions Analysis Framework (CIAF): A comparative analysis of climate institutions in Germany, the United Kingdom, Sweden, and Australia using the CIAF. Journal of European Public Policy.

ARBEITSPAKET 4.2: INTERNATIONALE GOVERNANCE

Autorinnen und Autoren: *Matthias Kalkuhl (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Christian Flachsland (Hertie School), Marian Feist (Hertie School)*

1. Hintergrund

Der Arbeitsbereich Internationale Governance hat die Klimadiplomatie Deutschlands in einer sich schnell verändernden geopolitischen Konstellation in dreierlei Hinsicht in den Blick genommen. Folgende forschungsleitende Themen standen im Fokus des Arbeitspakets:

1. Erstens wurden Kapazitäten zur Modellierung von Außenhandelsbeziehungen (insbesondere Energie-, Rohstoff- und Gütermärkte) zur Analyse der Interaktionen von klimapolitischen Zielen, Versorgungssicherheit und damit verbundener Instrumente aufgebaut (Beaufils et al. 2025; Kalkuhl et al. 2026). Dies erlaubt die Quantifizierung von geopolitischen Co-Benefits durch Nachfragereduktion nach fossilen Rohstoffen sowie der Co-Benefits einer stärkeren Entkopplung von volatilen globalen Öl- und Gasmärkten.
2. Zweitens wurden Prioritäten und Optionen in den neuen geopolitischen Konstellationen untersucht (Deliverable 4.2.4; Adolphsen et al., 2026). Dabei lag der Fokus zunächst auf der empirischen Identifizierung dieser Herausforderungen, aber auch Chancen. Darüber hinaus ging es um die veränderten Bedingungen und Dynamiken effektiver Klimakooperation im multilateralen UNFCCC-Prozess, in bi- und plurilateralen Initiativen und Foren. Daran anschließend wurden Optionen zum Ausbau und zur Weiterentwicklung eines strategischen Ansatzes für Deutschlands Klimadiplomatie erarbeitet.
3. Drittens wurde die innere Organisation der Klimadiplomatie Deutschlands untersucht, insbesondere mit Blick auf die politisch-praktische Umsetzung (Deliverables 4.2.1 und 4.2.2; Adolphsen et al. 2024; Adolphsen & Feist in Vorbereitung). Dabei stand die Frage der Integration der relevanten Regierungsakteure und Politikfelder und der effektiven Umsetzung eines strategischen Ansatzes im Zentrum.

Die Fragen und Annahmen haben sich insbesondere durch zwei Entwicklungen verändert. Erstens haben sich durch den vorgezogenen Regierungswechsel Anfang 2025 sowohl die relevanten inhaltlichen Schwerpunkte der Bundesregierung als auch der entsprechende Beratungsbedarf verschoben. Obschon es einige Umstrukturierung erforderte, bot sich damit die Möglichkeit, eine abschließende Auswertung der internen Governance der Klimaaußenpolitik (KAP) unter der Regierung 2021–2025 vorzunehmen und erste Forschungsergebnisse als Beratungsleistung in den Konstituierungsprozess der neuen Bundesregierung zu spielen. Lag der Fokus eingangs noch auf der Weiterentwicklung der konkreten Klimaaußenpolitikstrategie der Vorgängerregierung, hat das Arbeitspaket letztlich breiter untersucht,

inwieweit die Klimaaußenpolitik als Policy-Integration-Projekt für mehr Kohärenz sorgen konnte und welche institutionellen und prozessualen Weichenstellungen für die künftige strategische Ausrichtung zentral sind.

Zweitens haben sich die Bedingungen für internationale Klimakooperation in nur wenigen Jahren signifikant verschärft, insbesondere mit Blick auf geopolitischen Wettbewerb, militärische Auseinandersetzung, Wirtschaftswachstum, Handelskonflikte, und weitere Entwicklungen (siehe auch unten). Vor diesem Hintergrund wurde die leitende Forschungsfrage für den entsprechenden Teil des Arbeitspakets fokussiert auf: Wie kann Deutschlands Klimadiplomatie unter den veränderten geopolitischen Rahmenbedingungen so weiterentwickelt werden, dass Prioritäten unter Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen Klima-, Energie-, Handels- und Sicherheitspolitik kohärent und effektiv gesetzt und Transformationsrisiken wirksam bewältigt werden?

2. Stand der Dinge

Zu Beginn von Ariadne II im Herbst 2024 stand die internationale Klimakooperation – trotz der wirtschaftlichen Nachwirkungen des Energiepreisschocks infolge des Angriffs auf die Ukraine – noch unter verhältnismäßig günstigen Vorzeichen. Deutschland hat Klimaschutz priorisiert, die USA sind unter Biden dem Pariser Übereinkommen wieder beigetreten, die EU hatte sich das Europäische Klimaschutzgesetz gegeben. Internationale Klimapolitik ist immer herausfordernd, aber der Fokus des Arbeitspakets konnte in der Ausgangslage auf dem Ergreifen der Chancen unter diesen günstigen Bedingungen liegen.

Zum Abschluss von Ariadne II Ende 2026 stellen sich die Dinge anders dar. Viele der aktuellen Herausforderungen sind nicht neu, haben sich aber im Zuge weltpolitischer Entwicklungen enorm verschärft. Die USA haben sich abgewandt und treten klimapolitischen Maßnahmen in diversen Foren aktiv entgegen. Wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und die Versorgung mit Importen fossiler Energieträger werden gegenüber Klimaschutz priorisiert. Der Ausbau Erneuerbarer Energien beschleunigt sich durch beachtliche technische und wirtschaftliche Entwicklungen in diesem Bereich, auch wenn Handelskonflikte und geopolitischer Wettbewerb weiterhin für Unsicherheit sorgen.

3. Zentrale Erkenntnisse des APs

Das Arbeitspaket hat Erkenntnisse sowohl bezüglich der inneren Organisation der Klimadiplomatie Deutschlands als auch der Prioritäten und Optionen angesichts äußerer Herausforderungen geliefert.

Bezüglich der geopolitischen und handelspolitischen Interaktionen der europäischen Klimapolitik gibt es drei wesentliche Erkenntnisse: (1) Nachfragereduktion von Öl und Gas, insbesondere durch die europäische Klimapolitik, senkt Weltmarktpreise und damit Importkosten der EU. Es besteht somit ein unmittelbarer Importkosten-Vorteil durch die Klimapolitik, solange die EU weiterhin Öl/Gas importiert (Beaufils et al. 2025, Adolphsen et al. 2026). (2) Die Senkung der Weltmarktpreise reduziert Einnahmen von Ölexporteuren, die hohe sicherheitspolitische Kosten für die EU verursachen (insbesondere Russland, aber auch Iran). Die Klimapolitik erzeugt damit eine signifikante sicherheitspolitische Dividende. (Beaufils et al. 2025). (3) Die Abhängigkeit Deutschlands und der EU von Öl- und Gasimporten erzeugt Vulnerabilität gegenüber globalen Preisschocks, die wiederum weitere Kompensations- und Rettungsmaßnahmen nach sich ziehen (Jakob et al. 2025, Kalkuhl et al. 2026). Hierdurch entstehen weitere fiskalische Kosten und dynamische Anreizprobleme, deren Ausmaß ebenfalls quantifiziert wurde, allerdings von geringerer Relevanz als die Co-Benefits in (1) und (2) ist.

Ein regierungsweites Strategiedokument zur Klimadiplomatie kann einen nützlichen Beitrag zur Kohärenz von internationalen Aktivitäten im Klimabereich leisten und Klimadiplomatie in bestehende Strategien (Sicherheit, China) einbetten (Flachsland et al. 2023). Das Ampel-Dokument war das Produkt eines ressortübergreifenden Aushandlungsprozesses und entfaltete so eine steuernde Wirkung, insbesondere nach innen. Um jedoch eine echte Außenwirkung im Sinne einer Einordnung der KAP in bestehende Außenpolitik zu erreichen, muss ein Strategiedokument klare Ziele und Prioritäten setzen. Es sollte in einer Schwerpunktsetzung klären, zu welchem Grad und in welchen Fällen Klima als Ziel anderen Prioritäten (Wettbewerbsfähigkeit, Außenpolitik) vorzuziehen ist oder (auf dem anderen Ende der Skala) als Mittel zum Zweck zur Erreichung anderer Ziele genutzt werden soll.

Bezüglich der Prioritäten und Optionen für Deutschlands Klimadiplomatie in neuen geopolitischen Konstellationen wurde festgestellt, dass im Zusammenhang mit dem veränderten weltpolitischen Kontext Deutschlands klimapolitische Ambitionen sowohl national als auch international unter Druck stehen. Verschärft wird dieses Problem durch Ressourcenverknappung und angeschlagenes Vertrauen zwischen Partnerländern. Demgegenüber steht die Feststellung, dass die globale (nicht nur nationale) Dekarbonisierung wirtschaftlich messbaren Nutzen sowie positive außen- und sicherheitspolitische Effekte mit sich bringt. Vor diesem Hintergrund sollte Deutschland klare Prioritäten für globale Minderungsanstrengungen setzen. Das beinhaltet einerseits, andere Länder gezielt finanziell insbesondere dort zu unterstützen, wo die Kosten durch vermiedene Schäden und positive Nebeneffekte aufgewogen werden, und andererseits den Beitrag anderer Länder durch konditionale Anreizsetzung stringenter einzufordern. Weiterhin ist angesichts der De-Priorisierung von Klimaschutz nicht allein die Ausgestaltung einzelner Policies und Instrumente entscheidend, sondern insbesondere auch deren diplomatische Einbettung in eine Gesamtstrategie, die politischen Widerstand langfristig antizipiert, statt sich allein auf die Phase zum nächsten UN-Klimagipfel zu fokussieren.

Bezüglich der internen Governance der Klimaaußenpolitik wurde festgestellt, dass die Kohärenz deutscher Klimadiplomatie durch die stark ausgeprägten ministeriellen Eigenlogiken der für unterschiedliche Bereiche zuständigen

Ressorts beeinträchtigt wird. Wie stark diese ausgeprägt sind, ist insbesondere von gemeinsamen Zielsetzungen, Problemverständnissen und informellen Faktoren abhängig. Versuche, durch gemeinsame Planung und strategische Ausrichtung nach außen Kohärenz herzustellen, werden oft als Teile von Kompetenzstreitigkeiten interpretiert. Eine Zunahme an Koordinierung kann diese ministeriellen Logiken nur teilweise überwinden. Ein Flaschenhals stellt oft die ministerielle Führungsebene dar, die nicht in allen Häusern die gleichen Kapazitäten hatte, sich mit internationalen klimapolitischen Fragen zu beschäftigen. Bewährt haben sich regelmäßige Austausche auf der ministeriellen Führungsebene, die im besten Fall durch die politische Ebene gedeckt werden. Die Rolle der Sonderbeauftragten für Klimaaußenpolitik auf Staatssekretärs-Ebene („Klimabotschafterin") konnte nach innen eine teils integrative Führung leisten.

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Im Zuge der Untersuchung der internen Governance von Deutschlands Klimadiplomatie kam sowohl vonseiten der einschlägigen Ministerien als auch des Ariadne-Forschungsteams immer wieder die Frage danach auf, wie man von anderen Ländern lernen kann. Eine international komparative Analyse verschiedener Ansätze zur Organisation von Klimadiplomatie würde hierzu weitergehende Erkenntnisse liefern. Großbritannien, Dänemark, die Niederlande sowie die EU sind besonders interessante Vergleichsfälle, angesichts wichtiger Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede im Regierungssystem und eines hinreichend ausgeprägten klimadiplomatischen Ansatzes, der Anknüpfungspunkte für die Untersuchung liefern würde.

Hinsichtlich der internen Governance der Klimadiplomatie auf EU-Ebene bestehen darüber hinaus eine Reihe offener Fragen, angefangen bei einem tiefen deskriptiven Verständnis der Koordinationsstrukturen in den zahlreichen klimapolitischen Teilbereichen mit ihren vielfältigen Akteuren (jeweils auf nationaler und EU-Ebene) und Interaktionen bis hin zur Erarbeitung von Handlungsoptionen zur Einrichtung effizienterer Koordinationsstrukturen.

Eine zentrale Erkenntnis aus der Ariadne-Forschung ist die Rolle des politischen Prozesses (siehe oben), die insbesondere auch die Anbahnung pluri- und bilateraler Partnerschaften betrifft. Obschon in dieser Hinsicht einige beachtliche Initiativen gelungen sind (JETPs, Klimaclub), lassen sich in der Rückschau immer wieder Defizite im Prozess feststellen, die politische Ressourcen in Anspruch genommen haben und der effektiven Entfaltungen dieser Initiativen im Wege stehen. Damit die entsprechenden Lehren für künftige Initiativen daraus gezogen werden können, bietet sich eine tiefgehende Prozessverfolgung eines oder mehrerer dieser Initiativen an. Da Deutschland sowohl bei den JETPs als auch beim Klimaclub von Beginn an stark involviert war, wäre eine solche Analyse nicht nur besonders relevant für die Bundesregierung, sondern auch der Zugang über deutsche Ministerien prädestiniert.

Im Laufe der Forschung war zu beobachten, dass trotz der Schwierigkeiten auf multilateraler Ebene die Klimakooperation auf bilateraler Ebene eine immer wichtigere Rolle spielt. Gleichzeitig nimmt die Notwendigkeit, Zusammenarbeit auf Schlüsselländer zu fokussieren, zu. Die Auswahl dieser Länder nach klima- und außenpolitischen Gesichtspunkten und das Anpassen der Herangehensweise an spezifische Länder ist eine Herausforderung, die analytische, personelle und institutionelle Ressourcen voraussetzt. Länderstrategien sind hier ein vielversprechender Ansatz. Forschungsbeiträge müssten ein tiefes Verständnis der polit-ökonomischen Strukturen und Akteure der jeweiligen Partnerländer generieren sowie ministerielle, privatwirtschaftliche und zivilgesellschaftliche Akteure in die Formulierung solcher Strategien einbeziehen.

Zukünftige Forschung sollte untersuchen, wie europäische Klimaziele extraterritorial erreicht werden können. Hierbei sind geeignete Institutionen, Mechanismen und Verfahren zu identifizieren, die effektiv und skalierbar sind und als legitim erachtet werden (z.B. Jurisdictional Reward Funds). Es ist zu klären, wie diese in bestehende Rahmenwerke (Pariser Abkommen, EU-Recht wie Green Deal und EU-ETS, deutsches Klimaschutzrecht) integriert werden können. Des Weiteren sind die ökonomischen Auswirkungen einer Flexibilisierung zu beleuchten (CO_2-Preise, Grenzvermeidungskosten in DEU/EU, Effekte in Empfängerländern), deren optimaler Umfang festzulegen und wie sie als „Hedging" gegen das Scheitern internationaler Klimaschutzbemühungen dienen kann. Ein weiterer Punkt ist die stärkere Ausrichtung der EU-Klimapolitik und der internationalen Klimafinanzierung an strategischen EU-Interessen (Reduktion von Importkosten und -abhängigkeit, Sicherheitspolitik). Schließlich sollte untersucht werden, wie die EU das Ambitionsniveau anderer Staaten erhöhen kann, beispielsweise durch die Weiterentwicklung von Mechanismen wie CBAM oder Flugsteuer-Clubs.

Literaturangaben

Adolphsen, O., Feist, M., Flachsland, C., Geden, O., Görlach, B., Jakob, M. (2024): Deutschlands Klimaaußenpolitik: Kontext – Rückschau – Weiterentwicklung. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/PIK.2024.017

Adolphsen, O., Duwe, M., Feist, M., Flachsland, C., Jakob, M., Kalkuhl, M., Kellner, M., Tänzler, D., Wanner, J. (2026): Challenges and priorities for Germany's climate diplomacy. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Adolphsen, O. & Feist, M. (in Vorb.): Germany's climate diplomacy: Towards foreign policy integration? Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Beaufils, T., Conyngham, K., de Vries, M., Jakob, M., Kalkuhl, M., Richter, P.M., Spiro, D., Stern, L., Wanner, J. (2025): The geopolitical externality of climate policy. Kiel Working Paper, No. 2283, Kiel Institute for the World Economy (IfW Kiel), Kiel. https://www.econstor.eu/bitstream/10419/315470/1/1922310182.pdf

Flachsland, C., Steckel, J., Jakob, M., Fahl, U., Feist, M., Görlach, B., Künher, A., Tänzler, D., Zeller, M. (2023): Eckpunkte zur Entwicklung einer Klimaaußenpolitikstrategie Deutschlands. Kopernikus-Projekt Ariadne. https://doi.org/10.48485/pik.2023.007

Jakob, M., Kalkuhl, M., Marschinski, R., Mehling, M., Wanner, J. (2025): Report: Importabhängigkeit bei sauberen Energiegütern – Marktversagen und Politikinstrumente. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.28

Kalkuhl, M., Beaufils, T., Eydam, U., Heinemann, M., Moretti, N., Peichl, A., Richter, P.M. (2026): Kurzdossier: Gezielt entlasten, fossile Importabhängigkeiten verringern. https://ariadneprojekt.de/publikation/kurzdossier-gezielt-entlasten-fossile-importabhaengigkeit-verringern/

ARBEITSPAKET 5: STROM- UND ENERGIEMARKTDESIGN AUF DEM WEG ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM

Autorinnen und Autoren: *Anna Billerbeck (Fraunhofer ISI), Alexander Burkhardt (Fraunhofer ISI), Markus Kahles (Stiftung Umweltenergierecht), Johanna Kamm (Stiftung Umweltenergierecht)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket „Strom- und Energiemarktdesign auf dem Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem“ (AP5) entwickelte in Ariadne 2 fundierte Entscheidungsgrundlagen für die Weiterentwicklung des Strom- und Energiemarktdesigns. Eine Reform ist angesichts der hohen Dynamik im Energiemarkt dringend erforderlich, insbesondere mit Blick auf drei zentrale Fragestellungen:

1. **Wie kann ein hohes Ausbautempo von Erneuerbaren Energien und somit eine Skalierung der Transformation erreicht werden?** Die ambitionierten Klimaziele erfordern eine konstant hohe Ausbaugeschwindigkeit der Erneuerbaren Energien. Die Bedeutung der EE-Förderung verändert sich mit ihrem steigenden Anteil im Technologiemix und deren zunehmender Wettbewerbsfähigkeit weg vom Ausgleich einer Wirtschaftlichkeitslücke hin zur Absicherung von Risiken. Dabei stellt sich die Frage nach geeigneten Absicherungsinstrumenten, die einen weiteren Ausbau ermöglichen, ohne aus technischer, ökonomischer oder gesellschaftlicher Sicht Fehlanreize zu setzen.
2. **Was sind verlässliche und anpassungsfähige Instrumente, die das Strommarktdesign auch bei steigendem Anteil Erneuerbarer Energien resilient aufstellen?** Der Strommarkt muss so ausgestaltet werden, dass die Refinanzierung von Erneuerbaren Energien, gesicherter Leistung und Flexibilitätsoptionen langfristig gewährleistet ist. Insbesondere der Bereitstellung von Flexibilität, sowohl durch flexible Verbraucher als auch flexible Spitzenlastkraftwerke, kommt in einem System mit hohen Anteilen Erneuerbarer Energien besondere Bedeutung zu.
3. **Wie können Engpässe und Knappheiten im Stromnetz bewältigt werden?** Und welche Rolle können marktbasierte Mechanismen bei der Koordination von Netz und System einnehmen? Für die Transformation des Stromsystems sind Engpässe und Knappheiten im Stromnetz aufgrund der hohen Ausbaugeschwindigkeit Erneuerbarer Energien sowie möglicher Verzögerungen beim Netzausbau wahrscheinlich und stellen eine weitere Herausforderung für die Transformation dar. Es gilt zu klären, wie Netz und System künftig koordiniert werden und welche Rolle marktbasierte Mechanismen bei der Koordination von Netz sowie System einnehmen können.

Eine erfolgreiche Transformation des Stromsystems ist die Grundvoraussetzung für die Energiewende. Nur so kann allen anderen Sektoren klimaneutraler Strom effizient, zuverlässig und kostengünstig zur Verfügung gestellt werden. Ein Energiemarktdesign, das diese Herausforderungen angeht und diesem Anspruch gerecht wird, ist somit essenziell.

2. Stand der Dinge

Der Ausbau Erneuerbarer Energien in Deutschland hat in den vergangenen Jahren deutlich an Dynamik gewonnen. Im Jahr 2023 deckten sie erstmals über 50 % des Bruttostromverbrauchs, angetrieben vor allem durch den Zubau von Wind- und Solarenergie (BMWE 2024). Die hohen Anteile erneuerbarer Stromerzeugung bringen jedoch ambivalente Effekte mit sich: Zeitweise niedrige oder negative Großhandelsstrompreise sowie ein erhöhter Redispatchbedarf stellen das bestehende Marktdesign vor neue Anforderungen. Um den Ausbau Erneuerbarer Energien mit dem Stromnetz zu synchronisieren, werden derzeit auf verschiedenen Ebenen unterschiedliche Instrumente diskutiert.

Mit Blick auf den europäischen Strommarkt wurde 2024 die Reform des EU-Strommarktdesigns verabschiedet, die unter anderem den Einsatz von Contracts for Difference (CfDs) als Förderinstrument für Erneuerbare Energien stärkt und Rahmenbedingungen für Kapazitätsmechanismen weiterentwickelt. Zudem wurden Kriseninstrumente für den Fall von Energiepreiskrisen eingeführt. Mit der Kraftwerksstrategie wurde in Deutschland ein Rahmen für den Neubau wasserstofffähiger Gaskraftwerke vorgelegt, um die Versorgungssicherheit in einem zunehmend auf Erneuerbaren Energien basierenden Stromsystem zu gewährleisten.

Insgesamt zeigt sich, dass die Anpassung des Energiemarktdesigns trotz erster Reformschritte weiterhin erheblichen Weiterentwicklungsbedarf aufweist. Insbesondere Fragen der Investitionsanreize, der Systemintegration Erneuerbarer Energien und grundlegend der Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch sowie der Kostenverteilung zwischen Marktakteuren bildeten den Fokus der Forschung im Arbeitspaket.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Im Arbeitspaket "Stromwende" wurden Handlungsoptionen und Instrumente für das zukünftige Energiemarktdesign eines klimaneutralen Energiesystems entwickelt und bewertet. Dabei stand neben der Ausgestaltung eines langfristigen Zielbildes insbesondere auch die Frage im Vordergrund, wie der Transformationspfad durch eine schrittweise Weiterentwicklung des bestehenden Marktdesigns praktisch umgesetzt werden kann.

Als analytischer Rahmen wurden zentrale Ziele und Herausforderungen identifiziert, auf die ein zukunftsfähiges Marktdesign Antworten finden muss: (1) die Sicherstellung eines hohen Ausbautempos Erneuerbarer Energien, (2) die Einstellung der fossilen Reststromerzeugung, (3) die Gewährleistung der Versorgungssicherheit bei hohen Erneuerbaren-Anteilen, (4) die effiziente örtliche Verteilung von Stromerzeugung und -verbrauch sowie (5) die Minimierung und gerechte Verteilung der Transformationskosten (vgl. Burkhardt et al. 2024). Dieser analytische Rahmen entlang der Ziele und Herausforderungen wurde zur Strukturierung und Entwicklung von Handlungsoptionen herangezogen (vgl. Burkhardt et al. 2024).

Einerseits sollten durch qualitative, quantitative sowie juristische Analysen (bzw. Fallstudien) vertiefte Erkenntnisse zu verschiedenen Handlungsoptionen gewonnen werden. Andererseits wurden die gewonnenen Erkenntnisse in verschiedenen Formaten für die breitere Öffentlichkeit aufbereitet. So sollte ein wissenschaftsbasiertes Fundament für die gesellschaftliche Debatte und die Ableitung politischer Entscheidungen zur Gestaltung und Begleitung der Transformation gebildet werden.

Hierbei wurde ein breites Spektrum von Handlungsoptionen und Instrumenten analysiert und aufbereitet. Diese umfassten unter anderem verschiedene Förderinstrumente für Erneuerbare Energien, wie unterschiedliche Ausgestaltungen von Contracts for Difference (CfDs) (Kamm et al. 2025; Stecher et al. 2025), Kapazitätsprämien sowie die Absicherung privater Power Purchase Agreements (Kamm 2024a; Kamm 2024b). Analysen zur Preisbildung zeigten dabei, dass traditionelle Marktlogiken in einem Stromsystem mit niedrigen Grenzkosten zunehmend unter Druck geraten (Geis et al. 2026).

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Frage, wie Versorgungssicherheit und Resilienz künftig gewährleistet werden können. Arbeiten zu Dunkelflauten, Reservekapazitäten und Resilienzindikatoren verdeutlichen, dass Versorgungssicherheit weniger durch einzelne Technologien als durch ein Zusammenspiel aus Flexibilitätsoptionen, Energiespeichern, Netzen sowie geeigneten Markt- und Reserveinstrumenten entsteht (Kittel et al. 2024; Tekin et al. 2026). Diese systemisch zusammenzudenken und in Einklang mit den energiewirtschaftlichen Zielen zu bringen, bietet Vorteile für die langfristige Ausgestaltung eines nachhaltigen Energiesystems (Tekin et al. 2026).

Eng damit verknüpft war die Analyse von Flexibilitätsoptionen auf der Nachfrageseite. Zum Ausgleich täglicher Erzeugungs- und Nachfrageschwankungen stehen verschiedene Flexibilitätsoptionen zur Verfügung. Dazu zählen etwa die systemdienliche Steuerung von zentralen und dezentralen Wärmepumpen in Kombination mit Wärmespeichern (Burkhardt et al. 2026) sowie die flexible Nutzung von Elektrofahrzeugen. Analyseergebnisse zeigen, dass der Einsatz dieser nachfrageseitigen Flexibilitätsoptionen die Systemkosten verringert. Einen großen gesamtwirtschaftlichen Nutzen kann der Ausbau von Langzeitspeichern in Form von Kavernenspeichern oder der Erweiterung von Reservoirspeichern erzielen (Gillich et al. 2024). Allerdings stellen sich hier Fragen nach den Anreizen und potenziellen Förder- bzw. Absicherungsmöglichkeiten (Kirchem et al. 2025). Die volkswirtschaftliche Erschließung der Flexibilitätsoptionen hängt stark von passenden Preissignalen, Netzentgelten und regulatorischen Rahmenbedingungen ab (Tekin et al. 2024).

Mit der steigenden Bedeutung von Flexibilität gewinnt auch die Analyse der räumlichen Dimension des Strommarktdesigns an Relevanz. Analysen zu Strompreiszonen, Netzentgeltsystematik und grenzüberschreitenden Effekten Erneuerbarer Energien zeigten, dass mit fortschreitender Energiewende räumlich grobe Preissignale zu immer massiveren systemischen Ineffizienzen führen (Stiewe et al. 025; Kopiske et al. 2026). Gleichzeitig wurde deutlich, dass stärker differenzierte Preissignale mit Verteilungsfragen verbunden sind, die im Marktdesign mitadressiert werden müssen.

Zentrales Ergebnis des Arbeitspakets "Stromwende" ist, dass der politische Handlungsbedarf weniger in der Entwicklung neuer Instrumente liegt als in der abgestimmten und möglichst friktionsfreien Implementierung bestehender Instrumentenvorschläge entlang eines konsistenten Transformationspfads. Ein wesentlicher Beitrag des Arbeitspakets bestand in der fortlaufenden Einbettung dieser Erkenntnisse in die energiepolitische Debatte. Die Ergebnisse wurden über Fachartikel, Hintergrundpapiere, Kurzdossiers und Dialogformate auf nationaler und europäischer Ebene kommuniziert, um die Debatte vom „Ob" einzelner Instrumente auf das „Wie" des Zusammenspiels zu verschieben. Damit leisten die Ariadne-Forschenden einen Beitrag zur Klärung zentraler Gestaltungsfragen eines erneuerbaren Marktdesigns, das Investitionen ermöglicht, Systemstabilität wahrt und gesellschaftlich tragfähig ist.

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Trotz umfangreicher politischer und regulatorischer Aktivitäten in den vergangenen Jahren blieb der tatsächliche Ausbau der Erneuerbaren Energien, insbesondere in den Sektoren Wärme und Verkehr, hinter den gesetzlichen Zielen zurück. Dennoch wächst die Bedeutung von Sektorkopplung und Flexibilität, getrieben durch die zunehmende Elektrifizierung über Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und industrieller Prozesse,und stellt damit neue Anforderungen an das Marktdesign. Es bedarf eines kohärenten Ordnungsrahmens, der geeignete Preissignale, Anreizmechanismen und regulatorische Rahmenbedingungen vereint, um Investitionen in flexible Technologien zu ermöglichen, ein effizientes Zusammenspiel der Sektoren sicherzustellen und so langfristig Versorgungssicherheit und Krisenfestigkeit zu gewährleisten. Offen bleibt dabei insbesondere, wie das Marktdesign diese sektorübergreifenden Anforderungen strukturiert integrieren und verlässliche Investitionsbedingungen schaffen kann.

Zugleich hat die Entwicklung auf den Energiemärkten in den letzten Jahren gezeigt, dass ein zukünftiges Energiemarktdesign in der Lage sein muss, auf Krisen und unvorhersehbare Ereignisse zu reagieren. Extreme Preisvolatilitäten, drohende Versorgungsengpässe und kurzfristig notwendige staatliche Eingriffe wie die Gaspreisbremse haben verdeutlicht, dass Marktmechanismen so gestaltet werden müssen, dass sie auch unter Stress verlässliche Preissignale senden, Versorgungssicherheit gewährleisten und dabei die Transformation nicht ausbremsen. Die Resilienz des Marktdesigns gegenüber externen Schocks bedarf daher weiterer systematischer Untersuchung. Insbesondere die Frage, wie Instrumente unter grundlegend veränderten Rahmenbedingungen wirken und welche Sicherungsmechanismen erforderlich sind, sollte dabei im Zentrum stehen.

Ein zentraler Forschungsbedarf liegt darüber hinaus in der Bewertung von Maßnahmenbündeln. Die bisherige Analyse hat gezeigt, dass sich die Wirkung einzelner Instrumente erst im Zusammenspiel mit dem übrigen Marktdesign vollständig entfaltet. Viele der untersuchten Handlungsoptionen überlappen sich, sind kombinierbar oder schließen sich gegenseitig aus. Für die weitere Arbeit wird daher insbesondere die Erfassung von Wechselwirkungen und Synergieeffekten zwischen Instrumenten entscheidend sein – etwa zwischen Maßnahmen zur Versorgungssicherheit und solchen zur effizienten örtlichen Verteilung von Erzeugung und Verbrauch, wo die bisherige Analyse bereits erhebliches Synergiepotenzial identifiziert hat. Darüber hinaus sind Fragen offen, wie Instrumente priorisiert, sequenziert und über Übergangsphasen hinweg konsistent eingesetzt werden sollen.

Schließlich besteht weiterer Untersuchungsbedarf hinsichtlich der räumlichen Koordination von Erzeugung, Verbrauch und Netz. Hier braucht es langfristig tragfähige Lösungen. Die in der aktuellen Debatte um die Synchronisierung von Markt und Netz diskutierten Vorschläge, wie etwa der Redispatchvorbehalt, erscheinen vor allem auf kurzfristige Herausforderungen ausgerichtet; ihre langfristige Tragfähigkeit sowie mögliche Folgewirkungen sind bislang nur begrenzt abschätzbar. Die Frage, ob und wie lokale Preissignale mit der einheitlichen Strompreiszone zusammenwirken können, bleibt offen. Ebenso bedarf es vertiefter Analysen zur Verteilungsgerechtigkeit der Transformation: Wie können die Kosten fair zwischen Generationen, Regionen und sozioökonomischen Gruppen aufgeteilt werden, und welche Rolle spielen dabei Instrumente wie dynamische Stromtarife oder zeitvariable Netzentgelte? Schließlich gilt es, die Gestaltung des Übergangspfads vom heutigen Marktdesign hin zum Zielsystem weiter zu konkretisieren – mit ausreichender Planbarkeit für Marktakteure und unter Vermeidung von Investitionsunsicherheiten.

Literaturangaben

BMWE (2024): Newsletter Energiewende. Ausgabe 01/2024. https://energiewende.bundeswirtschaftsministerium.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2024/01/Meldung/direkt-erfasst.html

Burkhardt, A., Billerbeck, A., Böttger, D., Brand, H., Egerer, J., Gerhardt, N., Gillich, A., Held, A., Kahles, M., Kamm, J., Hoff, F., Kochems, J., Nienhaus, K., Pfefferer, U., Radke, S., Schill, W.-P., Stecher, M., Stiewe, C., Tekin, E., Tiedemann, S. (2024): Kurzdossier: Kernelemente des Strommarktdesigns – Anforderungen, Ziele, Bewertungskriterien und Handlungsoptionen. https://ariadneprojekt.de/publikation/kurzdossier-kernelemente-des-strommarktdesigns/

Burkhardt, A., Frömel, M., Deac, G., Billerbeck, A. (2026): Flexibility through thermal energy storage: cost-effective electrification of European district heating networks. In Energy, p. 141177, https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.141177

Geis, J.. Neumann, F., Lindner, M., Härtel, P., Brown, T. (2026): Price Formation in a Highly-Renewable, Sector-Coupled Energy System. In Energy Economics, p. 109213. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2026.109213

Gillich. J., Brand, H., Schmidt, T., Hufendiek, K. (2024): Die Schlüsselrolle von Flexibilität im Stromsystem 2030 Nutzenanalyse und kritische Flex-Technologien. https://doi.org/10.48485/pik.2024.004

Kamm (2024a): EU-Strommarktreform: Was ändert sich für die Förderung und Vermarktung von erneuerbaren Energien? (Teil 1). https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2024/09/Stiftung_Umweltenergierecht_Zusammenfassung_EU-Strommarktreform_EnWZ_2024-09-12-1.pdf

Kamm (2024b): EU-Strommarktreform: Was ändert sich für die Förderung und Vermarktung von erneuerbaren Energien? (Teil 2). https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2024/10/Stiftung_Umweltenergierecht_Zusammenfassung_EnWZ_EU-Strommarktreform_Teil_2_2024-10-11.pdf

Kamm, J., Kahles, M., Hoff, F. (2025): CfD & Co.: EU-Vorgaben für Rückzahlungsinstrumente bei der Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien. https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2025/04/Stiftung_Umweltenergierecht_Wuestudien_40_Rueckzahlungsinstrumente-bei-EE-Foerderung_2025-04-15.pdf

Kirchem, D., Burkhardt, A., Kittel, M., Österlein, E., Schill, W.-P. (2025): Was sind Wasserstoffspeicher und welche Rolle spielen sie in der Stromversorgung der Zukunft? Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.25

Kittel, M., Roth, A., Schill. W.-P. (2024): Coping with the Dunkelflaute: Power system implications of variable renewable energy droughts in Europe. Pre-print. https://arxiv.org/abs/2411.17683

Kopiske, J., Gerhardt, N., Burkhardt, A., Billerbeck, A., Stecher, M. (2026): Analyse: Gebotszonenteilung im Strommarkt – Anreize zur netzdienlichen Flexibilität. Fallstudie 2024. https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-gebotszonenteilung-im-strommarkt-anreize-zur-netzdienlichen-flexibilitaet-fallstudie-2024/

Stecher, M., Billerbeck, A., Burkhardt, A. (2025): Assessing Potential Distortions Under Production-Based CfDs on the German Electricity Market. International Conference on the European Energy Market 2025. https://doi.org/10.1109/EEM64765.2025.11050234

Stiewe, C., Xu, A. L., Eicke, A., Hirth, L. (2025): Cross-border cannibalization: Spillover effects of wind and solar energy on interconnected European electricity markets. Energy Economics, 143, 108251. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108251

Tekin, E., Achenbach, D., Gillich, A., Hufendiek, K. (2026): Event-independent and anticipative resilience indicators for future-oriented electricity system model analysis, Energy Strategy Reviews, 102162. https://doi.org/10.1016/j.esr.2026.102162

Tekin, E., Gillich, A., Hufendiek, K. (2024): Impact of different CO2 price paths on the development of the European electricity system, Energy Strategy Reviews, 101499. https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101499

ARBEITSPAKET 6: INDUSTRIEWENDE, WASSERSTOFFSTRATEGIE UND VULNERABLE WERTSCHÖPFUNGSKETTEN

AutorInnen: *Tobias Fleiter (Fraunhofer ISI), Meta Thurid Lotz (Fraunhofer ISI), Luna Lütz (Fraunhofer ISI), Benjamin Pfluger (Fraunhofer IEG), Toni Seibold (TU Berlin), Philipp C. Verpoort (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Simon Bussmann (Fraunhofer ISI), Thobias Sach (Guidehouse), Falko Ueckerdt (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Philipp Creutzburg (Guidehouse), Jannis Speckmann (Guidehouse)*

1. Hintergrund

Forschungsleitend für das Arbeitspaket zur Transformation der Industrie waren Fragen nach kosteneffizienten Pfaden, den dafür benötigten Energieträgern und Infrastrukturen sowie den dazugehörigen Politikinstrumenten.

Die Forschungsarbeiten wurden im Laufe des Projekts an die vorherrschende Transformationsdynamik und politische Prozesse angepasst. Mit der öffentlichen Debatte um die mittelfristigen Strombedarfe in Deutschland schauten die Forschenden auf die benötigten Strommengen und -preise für eine Elektrifizierung und gingen auf den schleppenden Markthochlauf für Wasserstoff und mögliche Lösungen ein. Basierend auf dem Feedback der Industrievertreterinnen und -vertreter bei Stakeholder-Dialogen konnten die Forschungsfragen angepasst und geschärft werden.

Übergreifende Forschungsfragen waren:

1. Was sind die kosteneffizienten Transformationspfade der Industrie? Wo bestehen Unsicherheiten für die Industrietransformation?
2. Welche realistischen Wasserstoffbedarfe ergeben sich durch die Transformation, welche Implikationen hat dies für die dazugehörige Infrastruktur?
3. Welche Veränderungen an Wertschöpfungsketten können die Transformation fördern? Wie wirken sie sich auf das Energiesystem und den Wasserstoffhochlauf aus?
4. Wie sieht eine wirksame Ausgestaltung von Politikinstrumenten, insbesondere grünen Leitmärkten, aus?
5. Wie kann Kreislaufwirtschaft/Materialeffizienz zur Dekarbonisierung der Industrie und zu einem resilienten Wirtschaftsstandort DE beitragen und wie wird sie erreicht?

2. Stand der Dinge

Die Transformation hin zu einer klimaneutralen Industrie ist technisch möglich, steht jedoch vor erheblichen Herausforderungen. Dazu zählen der Bedarf großer Mengen klimafreundlicher Energieträger wie Wasserstoff sowie der Aufbau und die Hochskalierung neuer Infrastrukturen und Technologien (CO_2-Abscheidung und -Transport) und die Modernisierung bestehender Infrastrukturen (Stromnetze) bei gleichzeitigem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit in internationalen Märkten.

Der Wasserstoffhochlauf befindet sich aktuell in einer kritischen Phase. Während Wasserstoff in nahezu allen Transformationsszenarien eine wichtige Rolle

einnimmt, bleibt die Marktentwicklung hinter den Erwartungen zurück. Hauptursache sind hohe Kosten und unzureichende Fördervolumina zur Schließung der Wirtschaftlichkeitslücke. Auch beim Aufbau von CCUS-Infrastrukturen bestehen erhebliche Herausforderungen. Trotz technologischer Fortschritte und wachsender politischer Unterstützung erfordert die Umsetzung ein vollständig neues System aus CO_2-Abscheidung, Transport und Speicherung. Hohe Investitionen und unsichere Rahmenbedingungen verzögern derzeit konkrete Umsetzungsentscheidungen. Die Elektrifizierung stellt für viele Anwendungen einen robusten und effizienten Dekarbonisierungspfad dar, wird jedoch durch hohe Stromkosten und begrenzte Netzkapazitäten gebremst. Diese Transformation vollzieht sich in einem zunehmend herausfordernden internationalen Wettbewerbsumfeld. Hohe Energiepreise und strukturelle Standortnachteile erschweren Investitionen in klimaneutrale Produktionsverfahren. Der bestehende Instrumentenmix aus CO_2-Bepreisung, Förderprogrammen und Infrastrukturmaßnahmen reicht bislang nicht aus, um die Kostenlücke zu schließen.

3. Zentrale Erkenntnisse des APs

Wasserstoff

Die Ariadne-Analysen verdeutlichen, dass alle Elemente des Wasserstoffhochlaufs eng aufeinander abgestimmt werden müssen, um das bestehende Henne-Ei-Problem zu lösen. Die zentrale Herausforderung liegt in den hohen Kosten und der damit verbundenen Förderlücke. Ein ausreichender Hochlauf zur Auslastung des geplanten Kernnetzes erfordert bis 2037 jährliche Fördermittel von 2,5 bis 5,6 Mrd. €, deren Bereitstellung derzeit unsicher ist (Pfluger et al., in Vorbereitung). Wasserstoff-Kraftwerke weisen aufgrund geringer Auslastung den höchsten spezifischen Förderbedarf auf, während der Einsatz in der Industrie durch hohe Volllaststunden effizienter ist. Eine integrierte Energie- und Industriepolitik sollte Prioritäten für den Einsatz von Wasserstoff festlegen und eine darauf basierende Anpassung des Kernnetzes skizzieren.

CCUS-Infrastruktur und -System

Der Aufbau eines effizienten CO_2-Transportnetzes wird durch die räumliche Verteilung der CO_2-Quellen erschwert, wie eine Ariadne-Analyse zeigen konnte (Lütz et al., in Vorb.). Langfristig sind Pipelines die kostengünstigste Transportoption für CO_2, während in der Übergangsphase der Schienentransport eine wichtige Rolle spielen wird. Ein mögliches CO_2-Kernnetz, welches die meisten Standorte mit schwer vermeidbaren Emissionen (Zement- und Kalkwerke sowie thermische Abfallbehandlung) mit Offshore-Speichern verbindet, würde eine Gesamtlänge von rund 5.000 km und Investitionen von etwa 21 Mrd. € erfordern (Lütz et al. 2026). Für den Markthochlauf ist jedoch zunächst ein kleineres, schrittweise erweiterbares Startnetz notwendig. Angesichts der hohen Unsicherheiten ist ein rein privatwirtschaftlicher Ausbau unwahrscheinlich; eine staatliche Rolle beim De-Risking sowie Instrumente zur Schließung der Kostenlücke sind daher zentral. Ein schneller Einstieg in ausgewählten Regionen mit hoher Emissionsdichte, etwa in NRW, erscheint besonders sinnvoll. Die Ergebnisse wurden mit Stakeholdern aus Industrie und Politik diskutiert und fließen u.a. in den Dialogprozess des BMWE zur Carbon Management Strategie ein.

Elektrifizierung

Die Ariadne-Szenarienanalysen identifizierten die Elektrifizierung vieler Prozesse als kosteneffizientesten Transformationspfad (Luderer et al. 2025). Insbesondere die Elektrifizierung der Prozesswärme ist ein wichtiger Hebel. Kurzfristig sollte die Nutzung hybrider, elektrifizierter Prozesswärmelösungen erleichtert werden, etwa durch eine Reform der Netzentgelte, angepasste Förderbedingungen und priorisierte Netzanschlüsse. Parallel ist die Hochskalierung vorzubereiten, insbesondere durch die gezielte Entwicklung und den Markthochlauf von Schlüsseltechnologien wie Hochtemperatur-Wärmepumpen und thermischen Speichern sowie durch den beschleunigten Ausbau Erneuerbarer Energien und die Stärkung industrieller Netzanschlüsse. Für langfristige Investitionssicherheit sind stabile Rahmenbedingungen notwendig, darunter ein wettbewerbsfähiger Industriestrompreis und ein robuster CO_2-Preis, ergänzt durch Optionen für schwer elektrifizierbare Prozesse wie Wasserstoff, CCUS oder Biomasse (Fleiter 2026). Die Ergebnisse wurden mit Stakeholdern aus Industrie und Politik diskutiert und fließen u.a. in den Dialogprozess des BMWE zur Modernisierung der Prozesswärme ein.

Wettbewerbsfähigkeit

Die inländische Wasserstoffproduktion sowie schiffbasierte Importe könnten laut Ariadne-Bericht zu hohen Produktionskosten bei energieintensiven Grundstoffen wie Stahl, Harnstoff oder Ethylen führen (Verpoort et al. 2024). Demgegenüber bieten Importe von Zwischenprodukten wie Roheisen, Ammoniak oder Methanol deutliche Kostenvorteile, während zugleich wesentliche Teile der Wertschöpfung im Inland erhalten bleiben könnten. Auch leitungsgebundene Importe von vergleichsweise günstigem Wasserstoff aus Europa könnten die Kosten senken, kommen jedoch nur langsam voran. Eine robuste Strategie könnte daher ein gezielter Strukturwandel sein, bei dem ein Teil der Produktion durch Importe grüner Vorprodukte ersetzt wird, während andere, strategisch wichtige Standorte weiterhin mit Wasserstoff versorgt und durch Leitmärkte unterstützt werden. Die Studienergebnisse wurden in Medien, in Stakeholder-Dialogen mit Vertreterinnen und Vertretern der Industrie sowie mit Mitgliedern aus Bundestag und Ministerien diskutiert.

Leitmärkte

Szenarienanalysen zeigen, dass langfristig ein Emissionssockel in der Industrie verbleiben wird (Luderer et al. 2025). Der CO_2-Preis des EU ETS setzt aufgrund hoher Vermeidungskosten erst spät wirksame Anreize für weitere Reduktionen und ist als alleiniger Steuerungsmechanismus nicht ausreichend. Öffentliche Förderinstrumente wie Klimaschutzverträge entfalten kurzfristig Wirkung, reichen jedoch nicht aus. Leitmärkte – verstanden als Instrumente zur Stärkung der Nachfrage nach klimafreundlichen Grundstoffen – können ergänzend wirken, indem

sie die Weitergabe von Mehrkosten entlang der Wertschöpfungsketten ermöglichen und so den Förderbedarf reduzieren. Die Analysen und der Austausch mit Branchenverbänden und Ministerien in Ariadne Dialog-Formaten zeigte die Komplexität von Leitmarktinstrumenten und die nötige branchenspezifische Ausgestaltung (Lotz et al. 2026).

4. Offene Fragen und Forschungsbedarfe

Wasserstoff

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ist mit vielen Unsicherheiten behaftet. Forschungsarbeiten können offene Fragen beantworten, beispielsweise wie das Angebot, die Nachfrage und die Infrastruktur effektiver koordiniert werden und welche Kosteneffizienzpotenziale bei der Planung des Kernnetzes getroffen werden können.

CCUS-Infrastruktur und -System

Mit Blick auf die CO_2-Infrastruktur stellen sich Fragen bezüglich der Finanzierung, beispielsweise nach der Höhe der Netzkosten. Auch ergeben sich aus den Entwicklungen in den europäischen Nachbarländern Implikation für den Ausbau des Netzes in Deutschland sowie Wettbewerb um Speicher und Transitflüsse. Die Ausgestaltung staatlicher Leitplanken für den Aufbau eines Startnetzes bleibt zudem unklar, ist jedoch von zentraler Bedeutung und kann durch zielgenaue Forschung vereinfacht werden.

Elektrifizierung

Die weitgehende Elektrifizierung von Prozessen ist eine robuste Dekarbonisierungsstrategie, jedoch stellen sich weitergehende Fragen für eine Umsetzung. Die Vermeidung von Engpässen durch Stromnetzanschlüsse oder die richtigen Stellschrauben im Strommarktdesign sind weitere Forschungsfelder, ebenso eine optimale Nutzung der Synergien zwischen Elektrifizierung von Anwendungen und der Integration von Erneuerbaren Energien.

Wettbewerbsfähigkeit

Für eine informierte Bewertung transformatorischer Prozesse und Maßnahmen bleiben derzeit zentrale Fragen offen, beispielsweise nach den Verfügbarkeiten von Wasserstoffimporten aus europäischen Ländern und nach möglichen Anpassungsnotwendigkeit des CBAMs. Auch Untersuchungen anderer Instrumente, wie Industriestrompreis, CCfDs und CBAM auf ihre Wirksamkeit für die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Branchen sollten wissenschaftlich erfolgen.

Die Ausgestaltung von Leitmärkten als Teil der öffentlichen Beschaffung, aber auch eine mögliche Ausweitung auf private Akteure, beispielsweise für Zement, bleiben ein zentraler Forschungsgegenstand für die Transformation der Industrie. Es ergaben sich zudem Fragen der Handelbarkeit und Sanktionierung für Stahl auf der europäischen Ebene oder der Berücksichtigung von Local-Content-Kriterien bei der Ausgestaltung von Leitmärkten.

Literaturangaben

Fleiter, T. (2026): Electrification of industrial process heating as foundation for an efficient, clean, and competitive European industry – A techno-economic perspective on policy needs; eceee industry conference presentation: https://proceedings.eceee.org/papers/proceedings2025/4_003_Fleiter_Pres.pdf

Lotz, M.T., Speckmann, J., Bussmann, S.L., Sach, T., Fleiter, T., Manych, N., Niedergesäss, J., Blömer, R., Ueckerdt, F., Wachsmuth, J. (2025): Analyse: Leitmärkte für die Industriewende - Umsetzungsvorschläge für Instrumente zur Steigerung der Nachfrage nach klimafreundlichen Grundstoffen. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/publikation/leitmaerkte-fuer-die-industriewende-umsetzungsvorschlaege-fuer-instrumente-zur-steigerung-der-nachfrage-nach-klimafreundlichen-grundstoffen/

Luderer, G. (Hrsg.), Bartels, F. (Hrsg.), Brown, T. (Hrsg.), Aulich, C., Benke, F., Fleiter, T., Frank, F., Ganal, H., Geis, J., Gerhardt, N., Gnann, T., Gunnemann, A., Hasse, R., Herbst, A., Herkel, S., Hoppe, J., Kost, C., Krail, M., Lindner, M., Neuwirth, M., Nolte, H., Pietzcker, R., Plötz, P., Rehfeldt, M., Schreyer, F., Seibold, T., Senkpiel, C., Sörgel, D., Speth, D., Steffen, B., Verpoort, P. C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.003

Lütz, L., Neuwirth, M., Fleiter, T. (2026): CO_2 pipeline topologies for Germany – techno-economic assessment of potential future CO_2 transport infrastructure. Carbon Capture Science & Technology, Volume 20.

Lütz, L., Seibold, T., Fleiter, T., Brown, T. (in Vorbereitung): Infrastrukturen für den Hochlauf von CO_2-Transport: Robuste Optionen bei hohen Unsicherheiten. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Pfluger, B., Speckmann, J., Sach, T., Ueckerdt, F. (in Vorbereitung): Kosten und Instrumente des Wasserstoffhochlaufs – Wege aus dem Deadlock. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Verpoort, P.C., Ueckerdt, F., Beck, Y., Bietenholz, D., Dertinger, A., Fleiter, T., Grimm, A., Luderer, G., Neuwirth, M., Odenweller, A., Sach, T., Schimmel, M., Sievers, L. (2024): Transformation der energieintensiven Industrie. Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2024.019

ARBEITSPAKET 7: VERKEHRSWENDE

Autorinnen und Autoren: *Nicolas Koch (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Patrick Plötz (Fraunhofer ISI), Peter Haan (DIW Berlin), Katja Treichel-Grass (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket "Verkehrswende" zielte auf evidenzbasierte Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Politikmixes für die deutsche Verkehrswende ab. Grundlage dafür war die Identifikation wirksamer und komplementärer Politikmaßnahmen. Angesichts belasteter Staatshaushalte, unsicherer Nachfrage- und Verhaltensänderungen sowie zunehmender Sorge um unerwünschte Verteilungseffekte hat sich die Forschung darauf ausgerichtet, frühzeitig Erfolge, Fehler und Ineffizienzen im Politikdesign der Verkehrswende zu erkennen und aufzuzeigen. Gleichzeitig sollten neue Akzente auf zusätzliche, bislang wenig beachtete Maßnahmen gesetzt werden. Forschungsleitend waren drei Stränge:

1. **Wo müssen wir hin?** Welche Erkenntnisse liefern Szenario-Analysen darüber, wie alternative Technologieausrichtungen, Politikstrategien und veränderte Mobilitätsmuster zusammenwirken müssen, um die Klimaziele zu erreichen?
2. **Was wirkt?** Wie kann ein kontinuierliches ex-post Monitoring aktueller Mobilitätstrends und neu umgesetzter Politikmaßnahmen sichergestellt werden, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage darüber zu liefern, was die stockende Verkehrswende wirksam vorangebracht hat und was nicht?
3. **Wie kann Politik in gesellschaftlicher Trägerschaft sozial ausgewogen gestaltet werden?** Welche vorteilhaften, aber weniger beachteten Politikoptionen mit Fokus auf Verteilungsfragen und gesellschaftliche Akzeptanz lassen sich aus ex-ante Analysen unter systematischer Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern sowie Stakeholdern ableiten?

2. Stand der Dinge

Die vergangenen sechs Jahre waren im Verkehrssektor von deutlichen Veränderungen geprägt. Besonders deutlich ist der Markthochlauf der Elektromobilität bei Pkw vorangeschritten. Elektrische Fahrzeuge haben sich zunehmend im Markt etabliert und sind zu einem zentralen Baustein der Dekarbonisierung des Straßenverkehrs geworden. Auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge hat der Hochlauf begonnen.

Darüber hinaus wurde mit dem Deutschlandticket ein neues und politisch relevantes Instrument eingeführt, das den Zugang zum öffentlichen Personennahverkehr durch die bundesweit einheitliche Nutzung und den vergleichsweise günstigen Preis deutlich vereinfacht. Damit wurde ein wesentlicher Beitrag zu einer attraktiveren und alltagstauglicheren ÖPNV-Nutzung geleistet.

Trotz dieser positiven Entwicklungen bleibt die Gesamtsituation im Verkehrssektor kritisch. Der Sektor verfehlt weiterhin Jahr für Jahr seine Emissionsziele und die Lücke zwischen den gesetzlichen Vorgaben des Klimaschutzgesetzes und den tatsächlich erreichten Emissionsminderungen ist nach wie vor erheblich. Technologische Fortschritte und einzelne neue Maßnahmen allein reichen also nicht aus. Es besteht weiterhin ein substanzieller Bedarf an zusätzlichen, wirksamen und sozial tragfähigen Politikmaßnahmen, um die Transformation des Verkehrssektors im notwendigen Tempo voranzubringen. Das Arbeitspaket "Verkehrswende" setzt genau hier an.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Das Kernprodukt des Arbeitspakets ist der Ariadne-Verkehrswendemonitor. Das Web-Dashboard bereitet die gewonnenen Forschungserkenntnisse interaktiv auf und bietet so Stakeholdern sowie Bürgerinnen und Bürgern niedrigschwellig daten- und faktenbasierte Orientierung, wo Deutschland aktuell bei der Verkehrswende steht, wo es hingehen muss und was wirkt. Der Erfolg des Formats in der politischen Debatte und Meinungsbildung zeigt sich unter anderem in einem breiten Medienecho (Deutschlandfunk, 3sat, FAZ, Spiegel, SZ, Tagesspiegel, Tagesschau, ZDF, Zeit) und dem großen Interesse der Politik (Ministerien, Umweltbundesamt, politische Parteien, koreanische Delegation) an einem vertiefenden Austausch. Mithilfe des interaktiven Web-Formats hat das Arbeitspaket politische Debatten zur Ausgestaltung von Politikinstrumenten prägen können, insbesondere in den folgenden Bereichen:

Reform klimaschädlicher Subventionen

Im Bereich klimaschädlicher Subventionen im Verkehr wurden bestehende Förder- und Steuerstrukturen analysiert, die fossile Mobilität indirekt begünstigen. Die klimaschädliche Wirkung dieser Subventionen wurde erstmals in Form negativer CO_2-Preise quantifiziert (Plötz et al. 2024). Dadurch konnte sichtbar gemacht werden, dass die klimaschädlichen Subventionen mitunter negativen CO_2-Preisen zwischen -70 und -690 € pro Tonne CO_2 entsprechen. Es wurde gezeigt, dass einkommensstarke Haushalte davon überproportional profitieren und welche Reformoptionen besonders vielversprechend sind. Dazu zählen unter anderem die Anpassung der Energiesteuer von Dieselkraftstoff auf Basis des Energiegehalts und die Erhöhung der Pauschalbesteuerung für verbrennungsmotorische Dienstwagen. Neben einem starken Medienecho stieß die zugrundeliegende Studie im Rahmen der Ariadne Politikwerkstatt (April 2024) und eines parlamentarischen Frühstücks (Oktober 2024) auf großes Interesse von Entscheidungstragenden. Auf Anfrage gab es zur Studie zudem Treffen mit Vertreterinnen und Vertretern einzelner politischer Parteien.

Wirkung des Deutschlandtickets

Ein weiterer Themenbereich, in dem das Arbeitspaket die politische Debatte erheblich prägte, war die Evaluierung des Deutschlandtickets. Mit dem „Ariadne D-Ticket Impact Tracker" (Teil des Verkehrswendemonitors) wurde die erste kausale Echtzeitanalyse der Wirkung der Politikmaßnahme vorgelegt (Koch et al. 2025b). Ergänzt wurde das Werkzeug durch einen späteren großen Studienvergleich im Rahmen des „Faktencheck Deutschlandticket" (Koch et al. 2025a). Dabei wurde gezeigt, dass es durch die Politikmaßnahme zu einer klaren Verkehrsverlagerung vom Pkw auf den öffentlichen Personennahverkehr kam. Die Ergebnisse widerlegen die Kritik, das Ticket generiere hauptsächlich zusätzlichen Verkehr, ohne einen Beitrag zu den Klimazielen zu leisten. Stattdessen belegen die Ariadne-Analysen vielmehr eine erhebliche Reduktion der CO_2-Emissionen um bis zu 6,5 Millionen Tonnen pro Jahr zu Vermeidungskosten im zweistelligen Euro-Bereich. Nach einem breiten Medienecho führten die Ariadne-Arbeiten zu vertieften Gesprächen, u.a. mit dem Bundesfinanzministerium (BMF) und einer koreanischen Delegation von Politikerinnen und Politikern, die gezielt vom Deutschlandticket lernen wollten.

Szenarien zur Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen

Darüber hinaus wurden neue Szenarien zur Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen berechnet (Luderer et al. 2025; Martini et al. 2025; Plötz et al. 2025). Ziel war es zu analysieren, welcher Markthochlauf von batterieelektrischen Pkw und Lkw notwendig ist, damit Deutschland im Verkehrssektor auf einen Pfad kommt, der mit den Klimazielen vereinbar ist. Diese Szenarien haben deutlich gemacht, dass der bisherige Fortschritt zwar relevant ist, aber für eine Zielerreichung noch deutlich beschleunigt werden muss und wurden in der Presse und in Gesprächen mit verschiedenen NGOs und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgegriffen.

EU-Regulierung von Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen

Zusätzlich wurden umfangreiche empirische Datensätze zur realen Nutzung von Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen ausgewertet (Plötz und Gnann 2025). Die Analysen zeigten, dass die tatsächlichen Emissionen dieser Fahrzeuge in Deutschland und Europa häufig deutlich über den in offiziellen Prüfzyklen angenommenen Werten liegen. Dies lieferte wichtige Implikationen für die zukünftige Regulierung und Förderung dieser Fahrzeugklasse und wurde mit dem Bundesumweltministerium (BMUV), der Europäischen Kommission, Vertretenden der Automobilindustrie in Deutschland und den USA sowie mit mehreren NGOs besprochen.

Differenziertes Klimageld für eine sozial ausgewogene Verkehrswende

Wichtige Impulse wurden zudem zum Design sozial ausgewogener Verkehrswendepolitik gesetzt. So zeigte das Arbeitspaket, dass ein Klimageld wesentlich dazu beitragen kann, die finanzielle Belastung durch steigende CO_2-Preise abzufedern. Um die Zielgenauigkeit zu vergrößern, könnte ein reduziertes Klimageld an höhere Einkommen ausgezahlt werden, wodurch zusätzliche fiskalische Spielräume zur Entlastung von sozialen Härtefällen eröffnet werden

(Bohmann et al. 2025; Bach et al. 2025). Politische Akzeptanz für ein Klimageld in Kombination mit CO_2-Bepreisung kann nur erreicht werden, wenn Haushalte über den Mechanismus und die Verteilungseffekte informiert werden und das Klimageld einen Großteil der CO_2-Bepreisung ausgleicht (Bohmann et al. 2026).

4. Erkenntnisse aus dem Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern

Der Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern im Rahmen der Ariadne-Bürgerdeliberation hat drei besonders wichtige Erkenntnisse hervorgebracht:

Erstens zeigte sich, dass Bürgerinnen und Bürger bei der Diskussion über Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr sehr schnell zentrale Akzeptanzfragen identifizieren (Epp et al. 2025; Treichel-Grass et al. 2025). In den Gesprächen wurde sichtbar, dass sie ein gutes Gespür dafür haben, welche Bevölkerungsgruppen von bestimmten Maßnahmen profitieren und welche stärker belastet werden könnten. Im Mittelpunkt stand dabei besonders die Frage der sozialen Ausgewogenheit. Es wurde deutlich, dass nicht allein die Maßnahme selbst über ihre Akzeptanz entscheidet, sondern vor allem ihre konkrete Ausgestaltung sowie die Kombination mit weiteren Instrumenten. Eine intelligente und faire Gestaltung kann die gesellschaftliche Zustimmung deutlich erhöhen. Hier zeigten die Teilnehmenden ein klares Problembewusstsein und eine differenzierte Sicht auf Verteilungswirkungen - insbesondere auch in Bezug auf ausgewogene Maßnahmenpakete für urbane und ländliche Bevölkerungsgruppen.

Zweitens wurde sichtbar, dass Bürgerinnen und Bürger sehr gut in der Lage sind, Abwägungen zwischen unterschiedlichen Klimaschutzmaßnahmen vorzunehmen (Treichel-Grass und Tilly 2026, Treichel-Grass 2026). Im Rahmen des Dialogs wurden sie vor die Aufgabe gestellt, ein Maßnahmenbündel zusammenzustellen, das sowohl ein bestimmtes Emissionsminderungsziel erreicht als auch finanzielle Grenzen des Bundeshaushalts berücksichtigt. Dabei zeigte sich, dass viele Teilnehmende bereit waren, Zielkonflikte offen zu diskutieren und Prioritäten zu setzen.

Bemerkenswert war, dass sich die gewählten Maßnahmenkombinationen häufig stark mit den Vorschlägen deckten, die auch aus wissenschaftlicher Sicht als besonders wirksam eingeschätzt werden. Dazu zählten u.a. das Deutschlandticket, der Ausbau des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs, die schrittweise Abschaffung des Dieselprivilegs und ein Tempolimit von 130 km/h auf Autobahnen. Während die wissenschaftliche Arbeit vor allem in der Bewertung der Wirksamkeit und der analytischen Einordnung der Maßnahmen lag, übernahmen die Bürgerinnen und Bürger vor allem die Abwägung, Auswahl und Priorisierung innerhalb eines realistischen politischen Rahmens.

Drittens wurde im gesamten Projektverlauf wiederholt erkennbar, dass sich Bürgerinnen und Bürger mehr und transparente Informationen über die Wirkweise und Wirksamkeit bestimmter Politikansätze wünschen. Viele Fragen zur Elektromobilität auf Seiten der Teilnehmenden wurden in einem entsprechenden Faktencheck durch die Forschenden aufgegriffen und beantwortet (Plötz et al. 2025).

Damit konnte gezeigt werden, dass Bürgerdialoge einen wichtigen Beitrag dazu leisten können, wissenschaftliche Erkenntnisse mit gesellschaftlichen Perspektiven zu verknüpfen und tragfähige politische Lösungsansätze für die Verkehrswende zu entwickeln. Die Ergebnisse fanden sowohl mediale Resonanz als auch Eingang in den fachlichen Austausch auf verschiedenen wissenschaftlichen und praxisorientierten Veranstaltungen. Ihren Abschluss fand der Deliberationsprozess auf dem Bürgergipfel im Juni 2026, auf dem Vertreterinnen und Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr, des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), des Automobilclubs Europa (ACE) sowie Abgeordnete verschiedener Fraktionen die Ergebnisse diskutierten und politisch einordneten.

5. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Die empirische Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehrssektor ist keine Aufgabe, die mit einem einzelnen Forschungsprojekt abgeschlossen werden kann. Vielmehr handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess, der sich stetig weiterentwickeln muss.

Dabei verändern sich die Rahmenbedingungen fortlaufend: Die Verfügbarkeit alternativer Antriebe nimmt zu, technologische Entwicklungen schreiten voran und das Mobilitätsverhalten verändert sich. Gleichzeitig werden die Anforderungen an die CO_2-Emissionsminderung zunehmend ambitionierter. Dementsprechend müssen auch politische Maßnahmen regelmäßig neu bewertet, angepasst und weiterentwickelt werden.

Ein zentrales offenes Feld bleibt daher die Frage, wie Politikmaßnahmen nicht nur langfristig modelliert, sondern auch kurzfristig empirisch belastbar bewertet werden können. Im Kopernikus-Projekt Ariadne konnte gezeigt werden, dass qualitativ hochwertige und wissenschaftlich fundierte Bewertungen auch in kurzer Zeit möglich sind und damit aktuelle politische Debatten unmittelbar begleitet werden können. Dies ist besonders wichtig, da politische Entscheidungen häufig unter hohem Zeitdruck getroffen werden. Voraussetzung für kurzfristige wissenschaftliche Bewertungen ist jedoch eine deutlich verbesserte Datenverfügbarkeit. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer gezielten Forschungsagenda, die den Aufbau, die Bereitstellung und die systematische Nutzung geeigneter Daten langfristig vorantreibt.

Ebenso relevant bleibt die Weiterentwicklung von Methoden, mit denen die Wechselwirkungen verschiedener Politikmaßnahmen besser verstanden werden können. Gerade im Verkehrssektor wirken steuerliche Regelungen, Förderprogramme, Infrastrukturmaßnahmen und regulatorische Vorgaben gleichzeitig zusammen. Ihre kombinierte Wirkung ist oft entscheidender als die Wirkung einzelner Instrumente. Im Rahmen des Projekts konnten wichtige Schritte hin zu einem vertieften Verständnis dieser

Wechselwirkungen unternommen werden. Zentrale Herausforderungen bestehen jedoch weiterhin bei der Entwicklung robuster Methoden, die mehrere Politikinstrumente sowie deren Synergien und mögliche kontraproduktive Effekte systematisch berücksichtigen.

Darüber hinaus besteht weiterhin Forschungsbedarf bei der Frage, wie Klimaschutzmaßnahmen gesellschaftlich tragfähig und sozial ausgewogen gestaltet werden können. Technische Wirksamkeit allein reicht nicht aus, wenn politische Maßnahmen nicht dauerhaft gesellschaftliche Unterstützung finden. Insbesondere bestehen Wissenslücken darüber, welche Verteilungswirkungen sich mittel- und langfristig durch unterschiedliche Politikmaßnahmen ergeben und wie Belastungen sowie Entlastungen zielgerichtet ausbalanciert werden können. Auch die Frage, welche Kommunikations- und Beteiligungsformate Vertrauen schaffen und Akzeptanz erhöhen, ist bislang nur punktuell untersucht. Hinzu kommt, dass soziale Wirkungen oft erst im Zusammenspiel mehrerer Politikinstrumente sichtbar werden und daher bislang in Evaluierungen nur unzureichend erfasst sind. Es bedarf daher stärker integrierter Forschungsansätze, die ökonomische, sozialwissenschaftliche und verhaltenswissenschaftliche Perspektiven zusammenführen, um belastbare Strategien für eine langfristig tragfähige und gesellschaftlich breit unterstützte Klimapolitik zu entwickeln.

Grundsätzlich bleibt die empirische Bewertung von Politikmaßnahmen damit ein zentraler Baustein für eine moderne und lernfähige Gesellschaft, die Emissionsminderungen im Verkehr auf einem wirksamen, effizienten und sozial ausgewogenen Weg erreichen möchte.

Literaturangaben

Bach, S., Engelhardt, R., Felder, L., Haan, P., Schmacker, R. (2025): Regionalisiertes Klimageld entlastet Haushalte in ländlichen Räumen, Problem der Härtefälle bleibt. DIW Wochenbericht 27/28, S. 421–433. Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.967000.de/publikationen/wochenberichte/2025_27_2/regionalisiertes_klimageld_entlastet_haushalte_in_laendlichen_raeumen__problem_der_haertefaelle_bleibt.html

Bohmann, S., Felder, L., Haan, P., Kemfert, C., Kücük, M., Schmitz, L., Schupp, J. (2025): Mehr Klarheit schaffen: Klimageld als sozialer Ausgleich bei höheren CO_2-Preisen. DIW Wochenbericht 6/2025, S. 75–82. Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.935747.de/publikationen/wochenberichte/2025_06_1/mehr_klarheit_schaffen__klimageld_als_sozialer_ausgleich_bei_hoeheren_co___-preisen.html

Bohmann, S., Felder, L., Haan, P., Küçük, M., Schmitz, L., Schupp, J. (2026): Information, Justice and Public Support for Carbon Tax-and-Divided Policies: Experimental Evidence from Germany. DIW Discussion Paper 2164. Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.1008593.de/publikationen/diskussionspapiere/2026_2164/information__justice_and_public_support_for_carbon_tax-and-divided_policies__experimental_evidence_from_germany.html

Epp, J., Illenseer, N., Kögel, N., Schenk, A.-K., Treichel-Grass, K. (2025): Was Menschen in der Klimapolitik bewegt – Einblicke aus der Ariadne-Bürgerbeteiligung für die Bundestagswahl, (Ariadne-Report), Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 15 p. https://doi.org/10.48485/pik.2025.001

Koch, N., Amberg, M., Krämer, A., Wilger, G., Bongaerts, R. (2025a): Report: Faktencheck Deutschlandticket: Eine Bestandsaufnahme der empirischen Evidenz, https://ariadneprojekt.de/publikation/report-faktencheck-deutschlandticket-eine-bestandsaufnahme-der-empirischen-evidenz/

Koch, N., Illenseer, N., Amberg, A., Treichel-Grass, K. (2025b): Ariadne kompakt: Wirkung des Deutschland-Tickets auf Mobilität und Emissionen, https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-kompakt-wirkung-des-deutschland-tickets-auf-mobilitaet-und-emissionen/

Luderer, G. (Hrsg.), Bartels, F. (Hrsg.), Brown, T. (Hrsg.), Aulich, C., Benke, F., Fleiter, T., Frank, F., Ganal, H., Geis, J., Gerhardt, N., Gnann, T., Gunnemann, A., Hasse, R., Herbst, A., Herkel, S., Hoppe, J., Kost, C., Krail, M., Lindner, M., Neuwirth, M., Nolte, H., Pietzcker, R., Plötz, P., Rehfeldt, M., Schreyer, F., Seibold, T., Senkpiel, C., Sörgel, D., Speth, D., Steffen, B., Verpoort, P. C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.003

Martini, L.J., Treichel-Grass, K., Gnann, T., Speth, D., Frank, F. (2025): Ariadne Kompakt: Klimaneutrale Mobilität durch Elektrifizierung, https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-kompakt-klimaneutrale-mobilitaet/

Plötz, P., Koch, N., Bach, S., Haan, P., Kistinger, D., Illenseer, N. (2024): Klimaschädliche Subventionen entsprechen negativen CO_2-Preisen. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2024.007

Plötz, P., Gann, T. (2025): Analyse: Realistischer Kraftstoffverbrauch und mögliche künftige Regulierung von Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen in Europa - Eine empirische Analyse von circa einer Millionen Fahrzeugen (Zusammenfassung), https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-analyse-zusammenfassung-realistischer-kraftstoffverbrauch-und-mogliche-kunftige-regulierung-von-plug-in-hybrid-elektrofahrzeugen-in-europa/

Plötz, P., Speth, D., Krail, M., Scherrer, A., Gnann, T. (2025): Faktencheck E-Mobilität. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. Faktencheck E-Mobilität: https://ariadneprojekt.de/publikation/faktencheck-eletromobilitaet/

Treichel-Grass, K., Koch, N., Hoff, L., Kistinger, D., Steidle, D.(2025): Bürgerperspektiven auf Politikmaßnahmen im Verkehr – Ergebnisse der Ariadne Bürgerkonferenz 1./2. Juni 2024. Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research. doi:10.48485/pik.2025.007.

Treichel-Grass, K., Tilly, L. (2026): Aus Forschung und Bürgerdialog - Politik-Mix für die Verkehrswende, Ariadne-Kompakt, Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-kompakt-perspektiven-auf-politikmixe-verkehrswende/

Treichel-Grass, K. (2026): Verkehr. Ergebnisse der Ariadne-Bürgerdeliberation 2023-26, in: Der Gipfel - Zeitung für den Wandel, Kopernikus-Projekt Ariadne, https://ariadneprojekt.de/media/2026/06/20260527_Ifok_Ariadne_Zeitung_Verkehr_03_rz_Ansicht.pdf

ARBEITSPAKET 8: WÄRMEWENDE SOWIE WÄRME- & WOHNEN-PANEL

Autorinnen und Autoren: *Ralph Henger (Institut der deutschen Wirtschaft), Sebastian Herkel (Fraunhofer ISE), Kathrin Kaestner (RWI Essen), Benjamin Köhler (Öko-Institut e.V.), Christoph Kost (Fraunhofer ISE), Dennis Tänzler (adelphi), Lukas Hoff (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Katja Treichel-Grass (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)*

1. Hintergrund

Das Arbeitspaket "Wärmewende" betrachtete in Ariadne 2 Fragen der Reduktion des Wärmeverbrauchs und der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung im Gebäudesektor im Spannungsfeld von hohem Investitionsbedarf, klimapolitischer Wirksamkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz. Die Forschung konzentrierte sich dementsprechend auf folgende Fragen:

1. Kosten: Mit welchen Kosten sind unterschiedliche Maßnahmen verbunden und was sind kostenoptimale Pfade? Und wie sehen regionale, kommunale Entwicklungen im Wärmebereich aus?
2. Barrieren und Verhaltensökonomie: Welche monetären und nichtmonetären Hindernisse existieren für private Haushalte bei der Durchführung energetischer Sanierungen und wie können diese abgebaut bzw. überwunden werden?
3. Verteilung und Soziales: Welche Haushalte sind besonders stark von steigenden Energiepreisen und klimapolitischen Instrumenten wie dem CO_2-Preis betroffen und welche Haushalte können sich gut an steigende Preise anpassen?
4. Instrumente: Welche Anreizwirkung haben verschiedene Instrumente zum energiesparenden Verhalten und welche Verteilungswirkungen sind damit verbunden?
5. Regionale Wärmewende: Welche regionalen Entwicklungen sind im Gebäudebereich zu erwarten? Reichen regionale Potenziale Erneuerbarer Energien, insbesondere grüner Gase aus, um die prognostizierte Nachfrage zu bedienen? Sind langfristig Restriktionen beim überregionalen Gastransport zu erwarten?

2. Stand der Dinge

Die Transformation des Gebäudesektors ist geprägt von einer sehr großen und heterogenen Stakeholder-Landschaft, mit rund 31 Mio. Eigentümerinnen und Eigentümern, wobei fast 80 % der Gebäude in privater Hand liegen. Dabei stellen Immobilien den größten Anteil am Privatvermögen in Deutschland dar. Gleichzeitig wohnt mehr als die Hälfte der Bevölkerung zur Miete.

Mit einem Anteil von etwa 15 % an den deutschen Treibhausgasemissionen liegt im Gebäudesektor ein zentraler Hebel für die Dekarbonisierung des Energiesystems. Zugleich verläuft die Transformation, ähnlich wie im Verkehrssektor, schleppend. Die im Klimaschutzgesetz und der Europäischen Lastenteilung (ESR) vorgeschriebenen jährlichen Emis-

sionsminderungsziele werden bereits regelmäßig überschritten.

Der Rahmen für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors wird auf europäischer Ebene durch die bevorstehende Einführung des Europäischen Emissionshandelssystems II (EU ETS 2) als marktliches Instrument und die Umsetzung der 2024 revidierten europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) gesetzt. Auf nationaler Ebene hat die nach der Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) in den Jahren 2023 und 2024 implementierte Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) nach einer Phase der Verunsicherung zu einer Verstetigung der Umsetzung geführt. Der erneute politische Diskurs um das Thema „Freiheit bei der Wahl des Heizungssystems" im Zuge der Regierungsneubildung im Jahr 2025 sowie die Verabschiedung des klimapolitisch wenig ambitionierten Gebäudemodernisierungsgesetzes (GModG) führen zu einer wiederholten Verunsicherung von Akteuren. Zeitgleich wurde die Einführung des ETS 2 verschoben und stößt auf hohe Hürden bei der europaweiten Implementierung. Die Transformation wird daher derzeit vor allem von den Erwartungen hinsichtlich der Preisentwicklung fossiler Energieträger und des Strompreises sowie von staatlicher Förderung getragen.

Das Arbeitspaket setzt daher seinen Fokus auf die Themen Akzeptanzanalyse und Kosten.

3. Zentrale Erkenntnisse des Arbeitspakets

Der umfangreiche Bedarf an daten- und faktenbasierter Orientierung wurde im Rahmen von Ariadne durch folgende Ansätze adressiert: regelmäßige Befragungen des Wärme- und Wohnen-Panels, Analysen zu kostenoptimalen Pfaden und Investitionsbedarfen und vergleichende Kostenanalysen zur Wärmeversorgung. Diese wurden ergänzt um Analysen zu regionalen Aspekten wie den Biomethanpotenzialen, Mieterstrom, Mindestenergieeffizienzstandards sowie Energiekostenbelastung und Energiearmut. Neben den Veröffentlichungen wurden die Ergebnisse sowohl im Rahmen der Bürgerdeliberation als auch in Stakeholderworkshops diskutiert und im Dialog weiterenwickelt.

Wärme- und Wohnen-Panel

Im Rahmen des Wärme- und Wohnen-Panels wurden zentrale Entwicklungen im Gebäudesektor sowie die Wahrnehmung klimapolitischer Instrumente in privaten Haushalten untersucht. Die seit 2021 durchgeführte jährliche Erhebung mit rund 15.000 teilnehmenden Haushalten setzt sich aus ca. 65 % Eigentums- und 35 % Miethaushalten zusammen. Neben detaillierten Informationen zum Gebäudebestand, bestehenden Heizsystemen und Heizkosten sowie sozioökonomischen Charakteristika der Haushalte, untersuchte die Erhebung auch bereits durchgeführte oder geplante energetische Modernisierungsmaßnahmen. Darüber hinaus erfasste die Erhebung die Wahrnehmung und Akzeptanz der Haushalte zu diskutierten sowie bereits eingeführten Politikinstrumenten im Gebäudesektor. Die erste Erhebung fand 2021 statt und wurde bis 2026 fortgeführt. (Kaestner et al. 2025; Knoche et al. 2024, 2026)

Die Befragungsdaten zeigen, dass Sanierungsaktivitäten im Eigenheimbereich insgesamt nur moderat zunehmen und sich auf niedrigem Niveau stabilisieren, während die Heizungsmodernisierung zuletzt deutlich an Dynamik gewann und Wärmepumpen erstmals die wichtigste neu installierte Heiztechnik darstellen. Neben den finanziellen Kosten nennen die befragten Teilnehmenden häufig den mit der Sanierung verbundenen Aufwand als Hinderungsgrund. Zugleich zeigt das Panel eine ausgeprägte Heterogenität der Heizkostenbelastung nach Gebäudetypen, Heizsystemen und Einkommen. Besonders Haushalte in älteren Gebäuden und mit niedrigem Einkommen tragen eine überdurchschnittliche finanzielle Heizkostenlast. Bei der Bewertung klimapolitischer Instrumente zeigt sich eine anhaltend gespaltene Haltung gegenüber der CO_2-Bepreisung, die deutlich hinter der grundsätzlichen Klimaschutzorientierung der Bevölkerung zurückbleibt. Die Akzeptanz hängt dabei stark von der individuellen Betroffenheit ab.

Szenarienanalyse

Die mit dem intersektoralen Energiesystemanalysemodell REMod durchgeführte Szenarioanalyse zeigt, dass in einem kostenoptimalen Szenario die Kosten für die Sanierung des Gebäudebestands und die Umstellung auf eine fossilfreie Wärme- und Kälteversorgung zwischen 2025 und 2045 mit ca. 1.400 Mrd. EUR rund 25 % der gesamten Investitionen darstellen (Luderer et al. 2025). Davon gehen 2/3 der Investitionen in die Sanierung der Gebäudehülle und 1/3 in die Heiztechnik. Die zentralen Versorgungstechnologien in 2045 stellen Wärmepumpen und Wärmenetze dar, wobei die Wärmenetze besonders stark von Großwärmepumpen und biogen versorgte KWK-Anlagen und BHKWs versorgt werden. Durch diese starke Elektrifizierung der Gebäudewärme steigt der Gesamtstrombedarf im Gebäudesektor stark an. Gleichzeitig sehen alle Szenarien einen umgehend startenden Ausstieg aus den aktuell noch dominierenden Heiztechnologien Ölkessel und Gaskessel vor. In Modellszenarien mit einem hohen Zubaupotential von Erneuerbaren Energien sinken die Gesamtkosten und die Anforderungen an die Sanierung der Gebäudehülle deutlich. Im kostenoptimalen Szenario liegen die Anforderungen zwischen dem Effizienzhausstandard EH 70 und EH 100. Diese Ergebnisse bedeuten, dass eine umfangreiche Sanierung nicht ausgeschöpft werden muss, falls genügend klimaneutraler Strom verfügbar ist. Allerdings sind Sanierungsmaßnahmen notwendig, wenn begrenzte Ressourcen von Erneuerbaren Energien bzw. begrenzte klimaneutrale Stromerzeugung vorhanden sind, um die Gesamtenergie bzw. Strombedarf nicht zu stark ansteigen zu lassen.

Politikmaßnahmen

Die Analysen in Bezug auf notwendige Politikmaßnahmen wurden in einem Papier (https://ariadneprojekt.de/publikation/report-warmewende-jetzt-impulse-aus-der-wissenschaft/) zusammengefasst. Da die Umstellung der Wärmeversorgung auf nicht-fossile Energieträger und die Absenkung der Verbräuche die wichtigsten Hebel für die Transformation und damit für das Errei-

chen des Zieles eines klimaneutralen Gebäudebestands sind, müssen die Maßnahmen hier ansetzen. Die Politikmaßnahmen sollten verschiedene Bereiche umfassen:

- Marktwirtschaftliche Ansätze: Die CO_2-Bepreisung und die Einbindung des Gebäudesektors in den Europäischen Emissionshandel sind zentrale Eckpfeiler der Wärmewende, um Investitionen der Gebäudeeigentümer in klimaneutrale Lösungen wirtschaftlich zu machen. Ein Fokus sollte auf der Ausgestaltung der Preis- und Mengenpfad, mögliche Mindestpreise und den damit verbundenen Belastungen für private Haushalte und Unternehmen liegen.
- Ordnungsrechtliche Ansätze: Konkrete Vorgaben und Pflichten im Hinblick auf die energetische Sanierung und den Austausch bestehender Heizungstechniken tragen dazu bei, dass Investitionen in Richtung Klimaneutralität gelenkt werden. Diskussionen über die genaue Ausgestaltung des Ordnungsrechts und seine Einbettung in den Instrumentenmix müssen im politischen Meinungsbildungsprozess stattfinden, sollten aber nicht suggerieren, dass ein Weg zurück in eine Welt mit fossiler Heizungstechnik möglich ist.
- Informatorische Ansätze: Die Gebäudeenergieberatung oder der Energieausweis erhöhen die Transparenz und das Bewusstsein der Marktakteure, wodurch ein wertvoller Beitrag zum Monitoring der Energiewende geliefert wird.
- Gesellschaftliche Akzeptanz und Verteilungsgerechtigkeit: Bei Gebäudesanierung und dem Einbau einer klimaneutralen Heizung müssen eine Vielzahl von Akteuren die notwendigen Investitionen für die Erreichung der Klimaneutralität im Gebäudebereich stemmen. Diese (sowohl Vermieter als auch selbstnutzende Eigentümer) sollten gemeinsam mit den Bewohnern hierin gestärkt werden. Dabei sollten insbesondere einkommensarme Haushalte gezielt unterstützt werden.

Kosten & Heizkostenvergleich

Im Arbeitspaket "Wärmewende" wurden die Modernisierungskosten für die Gebäudehülle und Wärmeerzeuger tiefgehend analysiert. Dabei wurden die Angaben des Ariadne Wärme- & Wohnen-Panels den Ergebnissen einschlägiger wissenschaftlicher Studien gegenübergestellt. Deutlich wurde eine enorme Spannbreite bei den Modernisierungskosten, da der erforderliche Aufwand erheblich von den durchgeführten Maßnahmen, dem energetischen Ausgangszustand und Zielstandard abhängt. Insgesamt zeigt sich, dass viele in der Praxis umgesetzte Modernisierungen nur eine geringe Sanierungstiefe aufweisen. Maßnahmen, die zu höheren Effizienzstandards führen, werden deutlich seltener realisiert, was vor allem auf die trotz Förderung weiterhin hohen anfänglichen Investitionskosten zurückzuführen sein dürfte. Zugleich wird deutlich, dass die verfügbare Literatur zur Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen zwar umfangreich ist, sich jedoch häufig auf wenige, teilweise ältere Primärquellen stützt (Henger et al. 2026).

Bürgerdeliberation

Teil des Forschungsprozesses im Arbeitspaket war die Bürgerdeliberation, welche die wissenschaftlichen Arbeiten fortlaufend begleitete und um die gesellschaftliche Perspektive ergänzte. Insbesondere für das Wärme- & Wohnenpanel lieferte der Deliberationsprozess weitere Hintergründe zu den Argumenten und Begründungen, die hinter den Antworten einer Befragung stehen. Insgesamt diskutierten rund 60 Teilnehmende über verschiedene Politikoptionen der Wärmewende. Der Prozess begann 2024 mit einer Bürgerkonferenz, auf die zwei Online-Deliberationsrunden in den Jahren 2025 und 2026 folgten. Der Bürgergipfel in Berlin im Juni 2026 bildet als Ergebnisveranstaltung den Abschluss des Prozesses.

Ziel war es, Politikmixe für eine effektive und sozial tragfähige Dekarbonisierung von Wohngebäuden zusammenzustellen, die zugleich den Staatshaushalt nicht übermäßig belasten (Kögel et al. 2026). Den Teilnehmenden stand dazu ein Maßnahmenkatalog zur Verfügung, der unterschiedliche Maßnahmen über vier Bereiche umfasste: Ordnungsrecht, Förderung energetischer Modernisierung, Informationspolitik und CO_2-Bepreisung. Der Prozess lieferte dabei Orientierungswissen aus Bürgerperspektive an das politische Entscheidende anknüpfen können und umfasste nicht nur die Politikmixe selbst, sondern auch differenzierte Argumente und Bedingungen für oder gegen Maßnahmen. Ergänzt wurde die Deliberation durch eine Vorher-Nachher-Befragung, die noch einmal betätigte: Der argumentative Austausch zu Politikoptionen zusammen mit anderen Menschen und die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Lebensrealitäten verändert die individuellen Einstellungen zu klimapolitischen Maßnahmen (Epp et al., 2025).

Die mehrfachen Anpassungen des ordnungsrechtlichen Rahmens (GEG, GModG), wurden von vielen mit Blick auf die fehlende Planungssicherheit bemängelt und der Wunsch nach langfristiger Planbarkeit geäußert. Den Teilnehmenden war eine transparente Kommunikation und unabhängige Informationsbereitstellung besonders wichtig, um fundierte Entscheidungen bei Heizungstausch und Sanierung treffen zu können. Dieser Aspekt wurde nach der Vorstellung der Eckpunkte des GModG noch einmal herausgestellt. Ordnungsrechtliche Vorgaben im Neubau trafen auf breite Zustimmung, Vorgaben für den Heizungstausch im Bestand wurden hingegen mehrheitlich kritisch diskutiert. Entscheidungsleitend war für die Bürgerinnen und Bürger hier vor allem die Sorge vor sozialen Härten, weshalb sich grundlegend Flexibilität und die Berücksichtigung individueller Situationen gewünscht wurde (Treichel-Grass, 2026). Darüber hinaus war den Teilnehmenden eine sozial gestaffelte Förderung für energetische Modernisierungen wichtig, um die Akzeptanz für ordnungsrechtliche Vorgaben zu erhöhen und finanzielle Belastungen von Haushalten zu verringern. Mit Blick auf die CO_2-Bepreisung wurde sich für einen festgelegten CO_2-Preispfad ausgesprochen, der Planungssicherheit biete. Die Aufteilung der Kosten zwischen Mietenden und Vermietenden in ihrer aktuellen Form wurde von

der Mehrheit befürwortet, wobei die Einnahmen für Investitionen in die Wärmeinfrastruktur genutzt werden sollten. Übergreifend wurde auch die Frage der Kommunalen Wärmeplanung diskutiert. Während sich die Bürgerinnen und Bürger primär für dezentrale individuelle Lösungen aussprachen, wurde auch deutlich, dass noch viele offene Fragen hinsichtlich gemeinschaftlicher Wärmelösungen bestehen.

Stakeholderdialoge

Der Austausch mit verschiedenen Stakeholdern aus der Zivilgesellschaft, den Verbänden, dem Bundestag, den Ministerien sowie weiteren ausgewählten Forschungseinrichtungen diente im Rahmen von drei zentralen Foren zum einen dazu, die Ergebnisse der Forschung kritisch zu beleuchten, und zum anderen einem politischen Realitätscheck zu unterziehen. Auf großes Interesse stießen hierbei besonders die jeweiligen Präsentationen der Ergebnisse zum Ariadne Wärme- & Wohnpanel wie auch die Darstellungen verschiedener Kosten-Szenarien u. a. mit Blick auf die Modernisierungsumlage. Im Mittelpunkt der Diskussionen standen Fragen der sozialen Verteilungswirkungen und unterschiedlichen Akzeptanz der Maßnahmen sowie die Anforderungen an ein ausgewogenes und verlässliches Policy Design, das den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen im Gebäudebereich genauso Rechnung trägt, wie der notwendigen Transformation hin zu einer Dekarbonisierung des Sektors. Den entsprechenden Diskussionen kam zugute, dass sie zeitlich mit der Regierungsbildung 2025 sowie der Veröffentlichung der Eckpunkte im März 2026 zusammenfielen. Zudem zeigten die Rückmeldungen der Stakeholder auch, dass die Art der Beteiligung zur Aktivierung neuer Politikvorschläge genutzt werden kann und somit sinnvoll komplementär zu den Bürgerdialogen ausgerichtet werden können.

4. Offene Fragen und anschließende Forschungsbedarfe

Mit Abschluss des Vorhabens bleiben im Gebäudesektor drei wesentliche Herausforderungen und offene Fragen, deren Lösung wissenschaftlich zu begleiten ist: Eine sozial gerechte und damit akzeptiere Lastenteilung der erheblichen Investitionskosten für die Energiewende, möglichst geringe Gesamtkosten und eine gute Beschreibung und Quantifizierung der Wirkmechanismen von Maßnahmen.

Um die Barrieren der energetischen Sanierung für private Haushalte zu verstehen und insbesondere ihr Reaktionsvermögen auf eine sich ändernde Politiklandschaft empirisch analysieren zu können, ist eine Weiterführung des Ariadne Wärme- & Wohnen-Panels dringend erforderlich.

Weitere Forschungsfragen ergeben sich zur Nutzung der Modernisierungsumlage (ggf. differenziert nach Vermietenden-Typ (privat, gemeinnützige/ öffentliche Unternehmen, Immobilienwirtschaft)) und ihre Auswirkungen auf Immobilien- sowie Mietpreise. Von Relevanz ist dabei auch eine Analyse der Kostentreiber im Immobilienmarkt. Dazu gehören z. B. Brandschutzanforderungen, Spekulation und Grundstückspreise. Eine weitere noch nicht erforschte Frage betrifft die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Modernisierungsumlage je nach Immobilienmarkt (z. B. urbane vs. ländlich Siedlungsräume, wachsende vs. schrumpfende Regionen)

Eine zentrale Strategie zur Minderung der Emissionen im Gebäudesektor ist die Umstellung auf Wärmepumpen und Fernwärme. Damit erfolgt gleichzeitig eine Verlagerung des Themas Emissionsminderung in den energiewirtschaftlichen Sektor. Die Forschungsfrage stellt sich neu, wie eine intersektorale Governance erfolgen kann, um z .B. den Ausbau Erneuerbare vs. Verbrauchsreduktion im Gebäudesektor prozessual gut entscheiden zu können. Dies gilt in gleichem Maße auch für die Interaktion mit der Infrastruktur. Hier fehlen noch detaillierte Modelle zu Wirkmechanismen von Maßnahmen in den jeweiligen Sektoren und Wechselwirkungen, um ein Assessment für robuste Strategien unter unsicheren Randbedingungen durchführen zu können.

Im Bereich der Szenarienanalyse für den Gebäudebereich müssen die aktuellen Entwicklungen im lokalen und kommunalen Bereich weiterhin stark gemonitort werden, um die Ergebnisse dann in nationalen Szenarien noch besser berücksichtigen zu können. Gerade im Wärmebereich sind Defossilisierungsentscheidungen und -aktivitäten deutlich langsamer und dezentraler als beispielsweise. in der Energiewirtschaft. Eine weiterführende Szenarienanalyse kann sich insbesondere auf Maßnahmen konzentrieren, die zügig und effektiv umgesetzt werden.

Literaturangaben

Bei der Wieden, M., Kenkmann, T., Köhler, B., Henger, R., Oberst, C., Breddermann, C. (2026): Wirtschaftlich umsetzbare Energieeinsparungen realisieren durch Mindesteffizienzstandards für Nichtwohngebäude. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2026.11.

Epp, J., Kögel, N., Steidle, D., Treichel-Grass, K. (2025): Report: Bürgerperspektiven auf politische Maßnahmen der Wärmewende - Ergebnisse der Ariadne-Bürgerkonferenz 1./2. Juni 2024. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/publikation/report-burgerperspektiven-auf-politische-massnahmen-der-warmewende/

Henger, R., Cludius. J. (im Erscheinen): Energiekostenbelastung und Energiearmut im Mikrodatenvergleich. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Henger, R., Meyer, R. Büchel, J., Herkel, S., Oberst, C.(2026): Was kostet die Modernisierung (m)eines Gebäudes? Energetische Modernisierungskosten von Wohngebäuden im Studienvergleich. Kopernikus-Projekt Ariadne. https://doi.org/10.48485/pik.2026.04

Kaestner, K., Knoche, A., Büchel, J., Gerster, A., Frondel, M., Henger, R., Milcetic, M., Oberst, C., Pahle, M., Schwarz, A., Singhal, P. (2025): Fokusreport Wärme und Wohnen: Zentrale Ergebnisse aus dem Ariadne Wärme- & Wohnen-Panel 2024. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.013

Knoche, A., Kaestner, K., Frondel, M., Gerster, A., Henger, R., Milcetic, M., Oberst, C., Pahle, M., Schwarz, A., Singhal. P. (2024): Report: Fokusreport Wärme und Wohnen - Zentrale Ergebnisse aus dem Ariadne Wärme- & Wohnen-Panel, https://ariadneprojekt.de/publikation/waermepanel23/

Knoche, A., Kaestner, K., Büchel, J., Gerster, A., Frondel, M., Henger, R., Oberst, C., Pahle, M., Singhal, P. (2026): Report: Fokusreport Wärme und Wohnen - Zentrale Ergebnisse aus dem Ariadne Wärme- und Wohnen-Panel 2025, https://ariadneprojekt.de/publikation/report-fokusreport-waerme-und-wohnen-zentrale-ergebnisse-aus-dem-ariadne-waerme-wohnen-panel-2025/

Kögel, N., Epp, J., Treichel-Grass, K. (2026): Ariadne kompakt: Die Mischung macht's – Perspektiven auf Politik-Mixe für die Wärmewende. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-kompakt-perspektiven-auf-politikmixe-warmewende/

Köhler, B., Stobbe, M., Krieger, S., Heinemann, C., Kost, C., Nolte, H. (im Erscheinen): Regionale Bedeutung von Biomethan - Potenziale, Bedarf und Transportmöglichkeiten. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Luderer, G. (Hrsg.), Bartels, F. (Hrsg.), Brown, T. (Hrsg.), Aulich, C., Benke, F., Fleiter, T., Frank, F., Ganal, H., Geis, J., Gerhardt, N., Gnann, T., Gunnemann, A., Hasse, R., Herbst, A., Herkel, S., Hoppe, J., Kost, C., Krail, M., Lindner, M., Neuwirth, M., Nolte, H., Pietzcker, R., Plötz, P., Rehfeldt, M., Schreyer, F., Seibold, T., Senkpiel, C., Sörgel, D., Speth, D., Steffen, B., Verpoort, P. C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.003

Treichel-Grass, K. (2026): Wärme. Ergebnisse der Ariadne-Bürgerdeliberation 2023-26, in: Der Gipfel - Zeitung für den Wandel. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/media/2026/06/20260528_Ifok_Ariadne_Zeitung_Waerme_02_rz_Ansicht.pdf

Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:

@ariadneprojekt.bsky.social

Kopernikus-Projekt Ariadne

ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMFTR auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von 26 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum Potsdam (RIFS) | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Hertie School | ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Julius-Maximilian-Universität Würzburg | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klima-folgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung Umweltenergierecht | Stiftung Wissenschaft und Politik | Technische Universität Berlin | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Technische Universität Nürnberg | Universität Duisburg-Essen | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung