MÖGLICHE WEGE ZUM NETTO-NULL-ZIEL

Um die Erderwärmung nach den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens zu begrenzen, müssen die Treibhausgasemissionen stark sinken. Die Schweiz will dazu bis 2050 das Netto-Null-Ziel erreichen. Eine energieökonomische Studie des ETH-affiliierten Paul Scherrer Instituts PSI und der griechischen Universität Piräus gibt nun Hinweise, mit welchen politischen Instrumenten und Massnahmen dieses Ziel erreicht werden könnte.

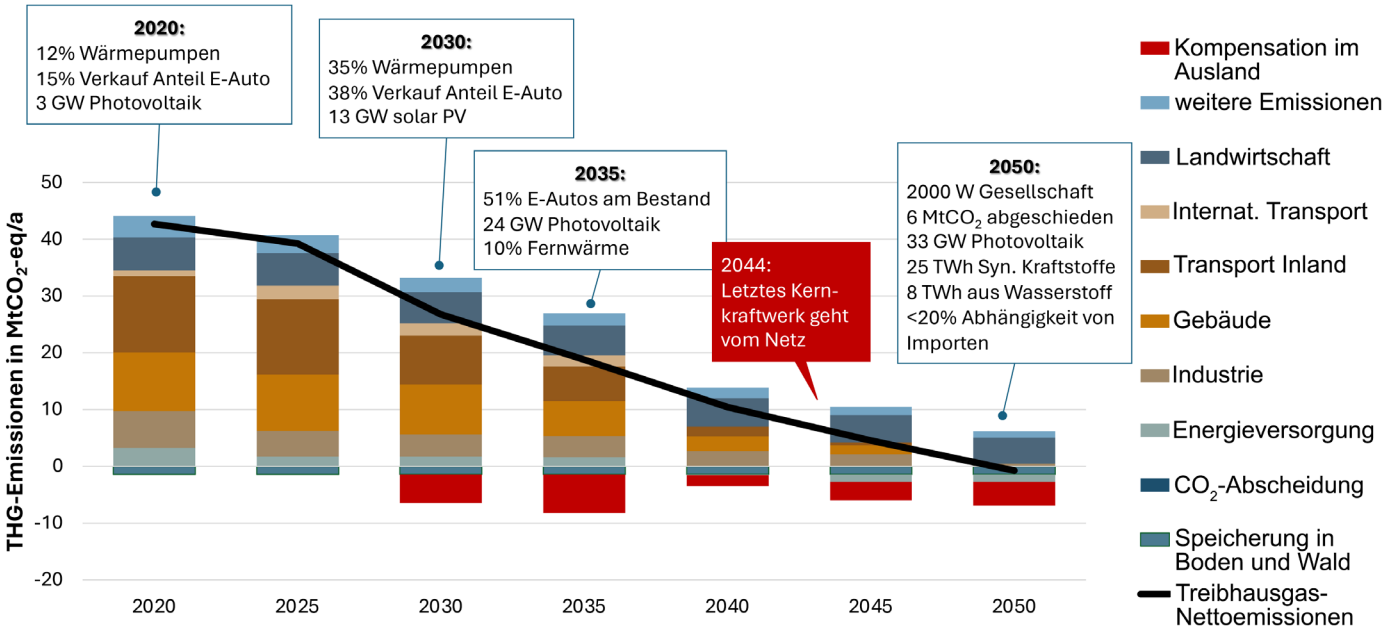


Der Weg zum Netto-Null-Ziel führt massgeblich über Strom aus erneuerbaren Quellen. Foto: B. Vogel

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt im Bereich Energie – Wirtschaft – Gesellschaft, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem im Fachmagazin Electra (Ausgabe April 2026) erschienen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



Treibhausgasemissionen nach Sektoren und wichtige Meilensteine auf dem Weg zur Netto-Null, basierend auf dem CLI90-Szenario von PoliZero, das eine teilweise Kompensation der Schweizer Emissionen im Ausland ermöglicht. Wenn für 2050 keine Kompensation im Ausland angenommen wird, steigt die Menge des abgeschiedenen CO_2 von 6 auf 10 Mt CO_2-Äquivalent. ‹Weitere Emissionen› umfasst alle Emissionen aus den aufgeführten Sektoren, bei denen sich um Treibhausgase, aber nicht um CO_2 handelt. Grafik: Schlussbericht PoliZero

Im Bereich der Energieversorgung ist die Schweiz ein Teil Europas. Die Vernetzung zeigt sich bei Stromleitungen oder bei Gaspipelines. Sie manifestiert sich auch beim internationalen Handel mit Emissionsrechten oder bei gesetzlichen Regelungen, bei denen sich die Schweiz heute schon an die Bestimmungen der Europäischen Union anlehnt. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die Energie- und Klimastrategien der EU-Staaten mit einzubeziehen, wenn sich die Schweiz die Frage stellt, mit welchen politischen Entscheidungen und welchen Technologien die Treibhausgasemissionen bis im Jahr 2050 auf ‹netto null› gesenkt werden können. ‹Netto null› bedeutet: Es sollen nur noch so viele Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, wie durch natürliche oder technische Speicher wieder entfernt werden.

Europa mitdenken – das ist auch der Ansatz einer Studie mit dem Namen PoliZero, die Forschende des Paul Scherrer Instituts PSI (Villingen/AG) und der griechischen Universität Piräus vor kurzem nach fünfjähriger Arbeit abgeschlossen haben. «Wir wollen den Politikern mit unserer Studie nicht sagen, was Sie zu tun haben, sondern wir wollen darstellen, welche politischen Instrumente und Massnahmen zur Umsetzung des Netto-Null-Ziels eingesetzt werden können und was mit ihnen erreicht werden kann», sagt Evangelos Panos, Energieökonom am PSI, der das PoliZero-Projekt geleitet hat. Das Forschungsvorhaben wurde aus dem Forschungsprogramm ‹Energie-Wirtschaft-Gesellschaft› des BFE finanziert.

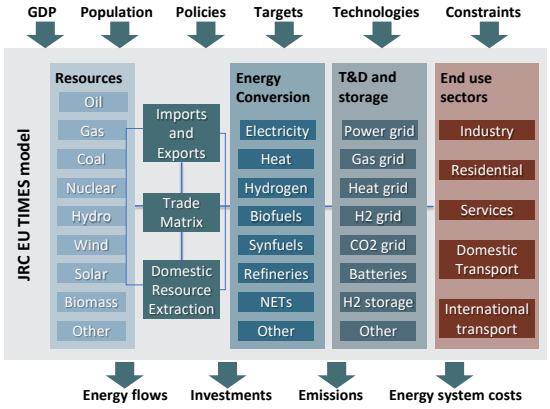
Wechselwirkung mit europäischen Nachbarn

Die Zukunft vorauszusagen ist bekanntlich schwer. Das gilt auch für die Frage, auf welchem Weg man ‹netto null› erreichen kann – und das bei möglichst tiefen Kosten. Um diese Frage zu beantworten, hat das PSI ein Energiesystem-Modell (siehe Textbox S. 3) entwickelt, mit dem sich verschiedene Szenarien für die künftige Entwicklung von Energiebedarf und Energieversorgung modellieren lassen. Berücksichtigt wurden unter anderem Technologiekosten, Energiepreise, wirtschaftliche und demografische Entwicklung und die Verfügbarkeit von Ressourcen. Das Modell ist so ausgestaltet, dass es die Dekarbonisierungsbemühungen der europäischen Staaten mitberücksichtigt. Forschende der Universität Piräus ergänzten das Modell mit einer ‹dynamischen adaptiven Politikpfadanalyse›. Hinter dieser sperrigen Bezeichnung steckt ein Software-Werkzeug des maschinellen Lernens, mit dem man verschiedene Entwicklungspfade vergleichen und dabei Unsicherheiten über künftige Entwicklungen einbeziehen kann.

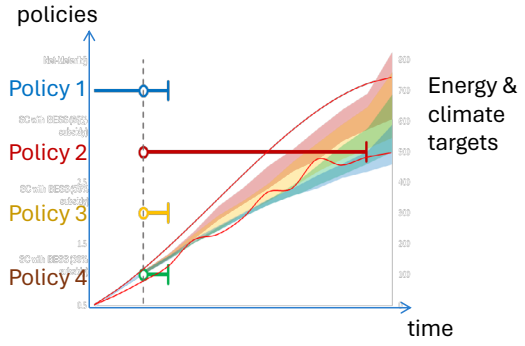
Ziel des PoliZero-Studienteams war, die Zukunftsentwürfe aus der akademischen Welt möglichst gut in der energiepo-

ENERGIESYSTEMMODELL UND POLITIKPFADANALYSE

Energiesystem-Modell EU-CH (JRC-EU-TIMES)



Dynamische adaptive Politikpfadanalyse (AIM)



Grafik: Schlussbericht PoliZero

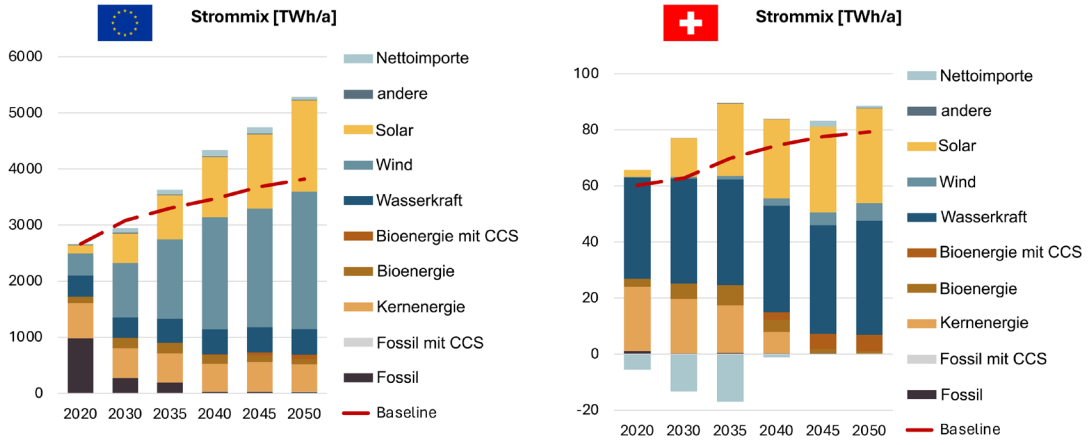
Die im Haupttext dargestellten Erkenntnisse hat das PoliZero-Forscherteam aus zwei Modellen gewonnen:

• Das **Energiesystemmodell JRC-EU-TIMES** (Grafik links) stellt mit rund 20 Millionen Gleichungen und Variablen die komplexen Zusammenhänge des heutigen und zukünftigen Energiesystems in den europäischen Ländern und der Schweiz dar. Es ermittelt eine kostenoptimale Konfiguration dieser Energiesysteme für den Zeitraum von 2020 bis 2050 und darüber hinaus. Dabei berücksichtigt das Modell verschiedene politische Vorgaben und Ziele, technologische Entwicklungen, Energieressourcen-Potenziale sowie wirtschaftliche und demografische Annahmen. Auf dieser Grundlage berechnet das Modell Investitionen in Technologien zur Energieversorgung und -nutzung, Emissionen und Kosten sowie die Ströme verschiedener Energieträger über die verschiedenen Sektoren des Energiesystems hinweg (Rohstoffgewinnung, Energieumwandlung, Energieübertragung, -verteilung und -speicherung sowie Endverbrauchssektoren).
• Die **dynamische adaptive Politikpfadanalyse** (engl. Adaptive Policymaking Model/AIM; Grafik rechts) ist ein Tool für maschinelles Lernen. Es identifiziert den Zeitpunkt und die Umsetzung verschiedener Massnahmenpakete, um die energie- und klimapolitischen Ziele unter Unsicherheit zu erreichen. Diese Unsicherheiten betreffen beispielsweise Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, Kraftstoffpreise, Verfügbarkeit von Energieimporten, Technologiekosten, Potenziale der Energieressourcen oder Wetterbedingungen. PoliZero hat 22 Unsicherheiten berücksichtigt. Das Tool ermittelt, welche dieser Unsicherheiten für den Erfolg der Politik besonders kritisch sind und welche überwacht werden müssen. Die Forschenden haben festgestellt, dass das Niveau der Benzin- und Gaspreise ein entscheidender Faktor für den Erfolg der Netto-Null-Strategie ist. Relevant ist aber zum Beispiel auch ein Monitoring, das zeigt, wie stark die einheimische Bioenergie das vorhandene Nachhaltigkeitspotenzial tatsächlich ausschöpft.

litischen Realität der Schweiz zu verankern. Dafür wurde ein Workshop mit 21 Interessensvertreterinnen und -vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik veranstaltet, in dem sie ihre energiepolitischen Anliegen zum Ausdruck brachten. Eingeladen waren Energieunternehmen, Verwaltung und diverse Verbände (Zementindustrie, Umwelt- und Energie, Bauern, Gasindustrie, Autohandel). Um die Stakeholder-Analyse zu vertiefen, eruierten die Forschenden ergänzend die energiepolitischen Positionen von 250 Verbänden, indem sie ihre Vernehmlassungsantworten zu energiepolitischen Vorlagen mit Natural Language Processing inhaltlich auswerteten.

Energiesystem beherzt umbauen

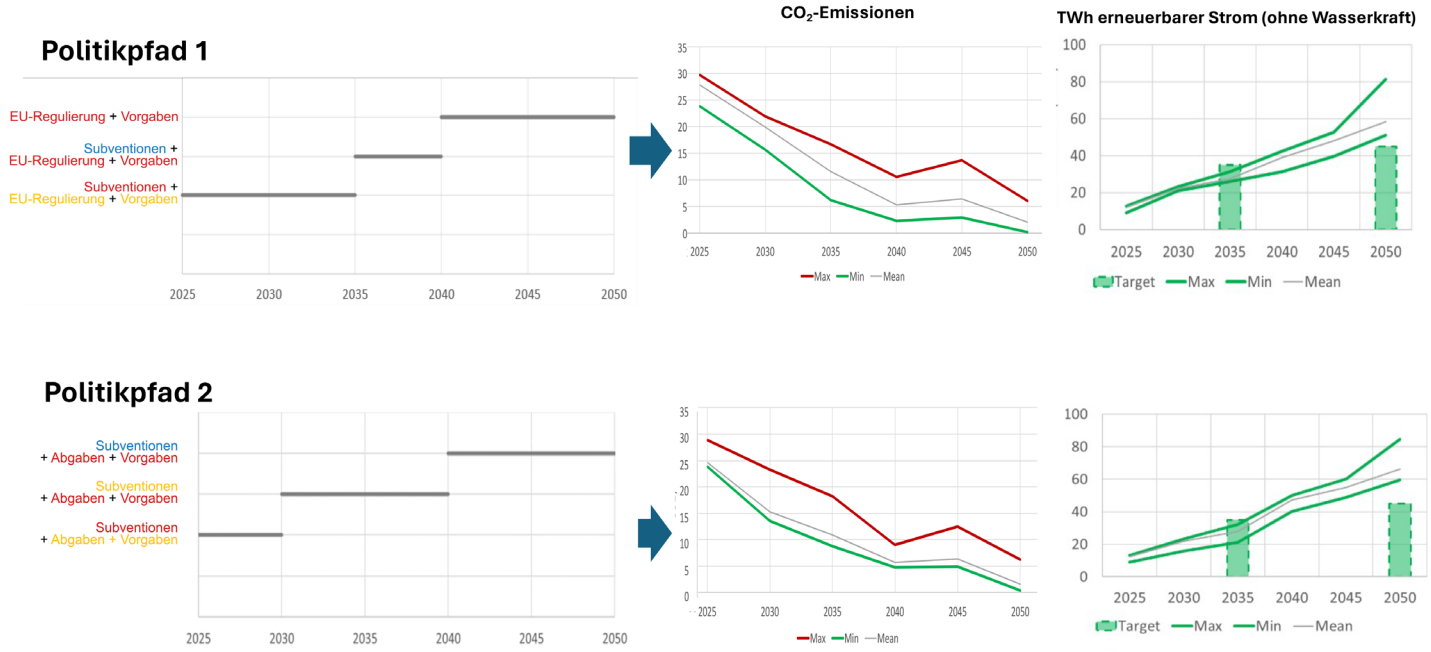
Ein – nicht ganz überraschendes – Ergebnis der Studie: Wenn man bis 2050 das Netto-Null-Ziel erreichen will, muss man im anstehenden Jahrzehnt bis 2035 die Weichen stellen für



Stromerzeugungsmix in der EU und in der Schweiz bei Umsetzung des Green Deal der EU und der Schweizer Energie- und Klimastrategie. Die rote Linie bezieht sich auf das «Baseline»-Szenario, das von einer Fortsetzung der aktuellen Trends und Politiken (Stand 2024) ausgeht und als Benchmark dient. Die beiden Hauptpfeiler der Stromversorgung ab 2040 sind Wasserkraft und PV. Wo die Schweiz nach 2040 Strom aus Bioenergie (Holz, Abfall, Biogas) gewinnt, kommt CO_2-Abscheidung zum Einsatz. Grafik: Schlussbericht PoliZero

eine fossilfreie Energieversorgung von Gebäuden, Verkehr und Industrie. Die Modellierungen des PoliZero-Teams führen konkret vor Augen, was in den nächsten zehn Jahren passieren muss, damit die Schweiz eine realistische Chance hat, 2050 am Ziel zu sein: Die installierte Photovoltaik-Leistung muss verdreifacht und der Energieverbrauch um 15 % gesenkt werden. Die Fernwärme muss so ausgebaut werden, dass sie im Jahr 2035 10 % des Wärmebedarfs der Gebäude deckt (heute 7 %). Verbrennerfahrzeuge müssen konsequent durch Elektrofahrzeuge und fossile Heizungen durch Wärmepumpen ersetzt werden.

Und was muss danach, also im Zeitraum von 2035 bis 2050, geschehen? Dann wird es laut PoliZero Massnahmen brau-



Blau: Massnahmen geringer Intensität
Gelb: Massnahmen mittlerer Intensität
Rot: Massnahmen hoher Intensität

Die Bandbreite zwischen Min und Max ergibt sich aus Unsicherheiten betreffen wirtschaftliches und demografisches Wachstum, Brenn- und Treibstoffpreise, Verfügbarkeit von Importen, Potenzial an Ressourcen, Technologiekosten, usw.

Zwei politische Wege führen laut PoliZero mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 75 % zu Netto-Null-Emissionen in der Schweiz. Weg 1 beginnt mit hohen Subventionen für saubere Energietechnologien und einer moderaten Intensität im EU-Emissionshandelssystem (EU ETS), im ETS 2 und bei Fahrzeugnormen, bevor zu einer stärkeren CO_2-Bepreisung und strengeren Effizienz- und Emissionsnormen übergegangen wird. Der zweite Weg beginnt ebenfalls mit hohen Subventionen, stützt sich später jedoch auf höhere CO_2-Abgaben und strengere Standards, ohne von EU-gesteuerten Instrumenten abhängig zu sein. Grafik: Schlussbericht PoliZero



Zur Dekarbonisierung der Schweizer Luftfahrt werden bis 2050 etwa 25 TWh synthetische Kraftstoffe benötigt, hält die PoliZero-Studie fest. Foto: B. Vogel

chen, die zum Teil mit technischen oder finanziellen Herausforderungen verbunden sind, oder heute noch keine breite Akzeptanz in der Bevölkerung geniessen: In dem Zeitraum sollen 12 TWh Wind- und Bioenergie zugebaut werden (2024: 3.4 TWh). Die Hälfte davon soll im Winter zur Verfügung stehen, damit die Schweiz in der Zeit nicht von Energieimporten abhängig wird. Um die Fernwärme zumindest teilweise zu dekarbonisieren, soll ein Drittel davon aus grossen Wärmepumpen stammen, die zum Beispiel Seewasser als Wärmequelle nutzen. Um den CO_2-Ausstoss von Kehrrichtverwertungsanlagen oder der Zementindustrie auszugleichen, braucht es CO_2-Abscheidung im Umfang von 6 bis 10 Millionen Tonnen pro Jahr. Für die Luftfahrt werden bis 2050 etwa 25 TWh synthetische Kraftstoffe benötigt, erzeugt entweder aus Biomasse oder mittels erneuerbarem Strom (E-Kraftstoffe). Für industrielle Prozesse werden rund 6 TWh Wasserstoff benötigt.

Ohne Atom- und alpinen Solarstrom

Bei diesem Ausblick in die Schweizer Energiezukunft gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von PoliZero von mehreren Annahmen aus, die politisch umstritten sind. Sie setzen zum Beispiel voraus, dass die Nutzung der Kernenergie im Jahr 2044 mit dem Abschalten des AKW Leibstadt nach 60 Betriebsjahren ausläuft. Die Forschenden stützen sich hierbei auf die aktuelle Rechtslage, die den Bau neuer AKW verbietet. Eine andere Annahme betrifft die alpinen Solaranlagen. Sie wurden in die Studie, deren Grundannahmen aus dem Jahr 2020 stammen, nicht einbezogen. Dazu sagt Studienleiter Panos: «Wir schätzen, dass unter den derzeitigen Umwelt- und Planungsauflagen realistisch gesehen etwa 2 TWh pro Jahr nutzbar sind. Das technische Potenzial kann jedoch je nach Standortwahl, öffentlicher Akzeptanz und geltenden Umweltauflagen über 10 TWh liegen. Unter den heutigen Bedingungen leistet die alpine Solarenergie daher einen wertvollen Beitrag, ist jedoch kein entscheidender Faktor für die Schliessung der Stromlücke im Winter.»

Die Autorinnen und Autoren der PoliZero-Studie geben auch Ratschläge, welche Instrumente von der Politik für die Umsetzung von Dekarbonisierungs-Massnahmen eingesetzt werden sollten. Dazu sagt Meixi Zhang, Wissenschaftlerin in der Gruppe Energieökonomie am PSI, die die Studie im Rahmen ihrer Doktorarbeit massgeblich mitformuliert hat: «In frühen Phasen der Umsetzung leisten Fördermassnahmen wichtige Impulse. Die Modelle legen jedoch nahe, dass nach 2035 zusätzliche Instrumente erforderlich wären, um langfristige Marktsignale zu senden.» Dazu zählen laut Untersuchung ein stärkerer Emissionshandel mit breiterer Abdeckung der Sektoren, gesetzliche Vorgaben wie der verpflichtende Aus-

tausch fossiler Heizsysteme sowie gezielte Regeln für CO_2-Export und -Nutzung.

Orientierung am Green Deal

Die Wissenschafterinnen und Wissenschafter raten dazu, die Netto-Null-Politik der Schweiz am Green Deal der EU – dem EU-Massnahmenpaket zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 – zu orientieren. Nach ihrer Einschätzung bietet eine Angleichung an die EU-Politik mehr Sicherheit bei der Emissionsreduzierung, insbesondere nach dem Jahr 2035. Die Forschenden plädieren für eine enge Einbindung der Schweiz in den europäischen Emissionshandel, denn dieses System garantiere dank der fixen Obergrenze für den Treibhausgasausstoss Emissionsreduktionen unabhängig von Preisänderungen. Die Angleichung an die EU bringe zudem zusätzliche Vorteile durch die grenzüberschreitende Marktintegration und eine koordinierte Infrastruktur. Um wirksame Emissionsminderungen zu erzielen, fordert das PoliZero-Studienteam zudem glaubwürdige Massnahmen im Inland bzw. ein klug kombiniertes Bündel aus unterschiedlichen politischen Instrumenten.

«Diese Studie wird sich nicht 1 zu 1 umsetzen lassen, aber sie gibt einen Eindruck, wie gross die Aufgabe ist, die sich mit dem Netto-Null-Ziel stellt. Sie zeigt zudem, dass dieses Ziel mit einer schnellen und konsequenten Herangehensweise grundsätzlich erreichbar wäre», sagt Anne-Kathrin Faust, die das BFE-Programm ‹Energie – Wirtschaft – Gesellschaft› leitet. Von grossem Interesse dürfte die Studie für die Energieforschungs-Community in der Schweiz sein. Denn für PoliZero wurde ein Softwarewerkzeug für die Modellierung der Energiezukunft entwickelt, das neben der Schweiz auch die EU-Staaten mit einschliesst. Das ist ein Ansatz, den es in dieser Art bisher nicht gab.

- Der **Schlussbericht** zum Projekt ‹Swiss Policy towards Zero CO_2 Emissions compatible with European Decarbonisation Pathways› (PoliZero) ist abrufbar unter: https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47515
- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Anne-Kathrin Faust (anne-kathrin.faust@bfe.admin.ch), Leiterin des BFE-Forschungsprogramms ‘Energie – Wirtschaft – Gesellschaft’.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im BFE-Forschungsprogramm EWG finden Sie hier.

Autor: Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)
Stand: Mai 2026