

MODELLGESTÜTZTE OPTIMIERUNG IM INDUSTRIESEKTOR: BEITRAG ZU EINER KOSTENEFFIZIENTEN INDUSTRIEWENDE

Tobias Hübner¹, Serafin von Roon¹

Hintergrund und Inhalt

Nach dem IPCC sind die anthropogenen THG-Emissionen bis 2030 um 45 % und bis 2050 um 100 % ggü. 2010 (~37 Mrd. tCO₂-Äqui.) zu reduzieren, um die Erderwärmung auf 1,5 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen [1], [2]. Bis einschließlich 2018 hat sich das CO₂-Gesamtbudget zur Erreichung des 1,5 °C-Ziels (2 700 Mrd. tCO₂-Äqui.) durch die weltweiten THG-Emissionen bereits um etwa 2 250 Mrd. tCO₂-Äqui. verringert [1], [2]. Die anthropogenen THG-Emissionen entsprechen derzeit etwa 42 Mrd. tCO₂-Äqui. pro Jahr (Referenz: 2017) [1], [2]. Zwar beträgt der Anteil Deutschlands daran pro Jahr gegenwärtig nur etwa 2 % [3], historisch gesehen ist Deutschland jedoch für einen deutlich größeren Emissionsausstoß verantwortlich. Demgemäß ist der Anteil Deutschlands an den Gesamtemissionen zwischen 1970 und 2017 auch knapp doppelt so hoch (~ 4%) [3]. Gerade aufgrund der historisch hohen emittierten Treibhausgase trägt Deutschland als entwickelte Industrienation eine besondere Verantwortung für die zukünftige Verminderung. Der Industriesektor emittierte im Jahr 2017 etwa 193 Mio. tCO₂-Äqui. und ist mit etwa 21 % somit nach der Bereitstellung (328 Mio. tCO₂-Äqui., 38 %) der Sektor mit dem höchsten THG-Emissionsausstoß in Deutschland [4]. Im Gegensatz zum Bereitstellungssektor, indem mit Photovoltaik- und Windenergieanlagen bereits systemisch tragfähige Defossilisierungsoptionen zur Verfügung stehen, ist die THG-Neutralität in der heterogenen Industrie mit prozessspezifischen Maßnahmen verbunden. Um die Industrie treibhausgasneutral zu stellen ist deshalb eine grundlegende Transformation erforderlich [5], die nach dem Special Report des IPCC [6] neben der Energieeffizienz eine Bandbreite von THG-Verminderungstechnologien wie der Elektrifizierung, der CO₂-Abscheidung sowie dem Einsatz synthetischer Brennstoffe vorsieht [7], [8].

Um die Auswirkungen verschiedener Technologieoptionen unter der Berücksichtigung von Wechselwirkungen auf die THG-Emissionen im Industriesektor zu berechnen, werden Simulationsmodelle verwendet. Es existieren bereits zahlreiche Modelle, die Transformationspfade für die deutsche Industrie berechnen [5], [9], [10], [11], [12], [13]. Die Simulationen zeigen Wege hin zu einer nahezu vollständigen THG-Verminderung auf und münden in energie- und klimapolitischen Szenarien [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]. Während im Bereitstellungssektor Transformationspfade kostenminimal auf der Basis von linearen Kostenfunktionen abgeleitet werden [24], [25], sind aufgrund der Heterogenität in der Industrie meist Experteneinschätzungen und andere Priorisierungsinstrumente bei der Umsetzung von THG-Verminderungsmaßnahmen maßgebend [5], [9], [10], [12], [13]. Im industriellen Kontext basieren Investitionen im Vergleich zu anderen Sektoren wie den privaten Haushalten jedoch in erster Linie auf mikroökonomischen Kriterien [26], [27], [28]. Für eine gesamtsystemisch kosteneffiziente Industriewende ist jedoch eine Bewertung aus übergeordneter Sicht entscheidend. Aus makroökonomischer Perspektive steuert die Politik mikroökonomische Investitionsentscheidungen durch die Anpassung des regulatorischen Rahmens. Da zwischen 2020 und 2030 in der Industrie eine wegweisende, klimarelevante Investitionsphase ansteht, die den Sektor aufgrund der langen Reinvestitionszyklen über Jahre prägen wird [16], ist eine fundierte Entscheidungsgrundlage für den industriellen Klimaschutz erforderlich. Um aus makroökonomischer Perspektive Kosteneffizienz in der Industriewende zu ermöglichen, wird das Sektormodell Industrie demgemäß um die Möglichkeit zur Ableitung kostenoptimaler Transformationspfade zur Senkung industrieller THG-Emissionen erweitert.

Methodik

Abbildung 1 zeigt einleitend die in fünf Bestandteile untergliederte Methodik. Basierend auf [5] und [29] wird das Technologiemixmodul des Sektormodells Industrie (SmInd) um die Möglichkeit der kostenoptimalen Kombination von THG-Verminderungsmaßnahmen erweitert.

¹ Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft, Am Blütenanger 71, 80995 München, 089/158 121 36, thuebner@ffe.de, www.ffegmbh.de

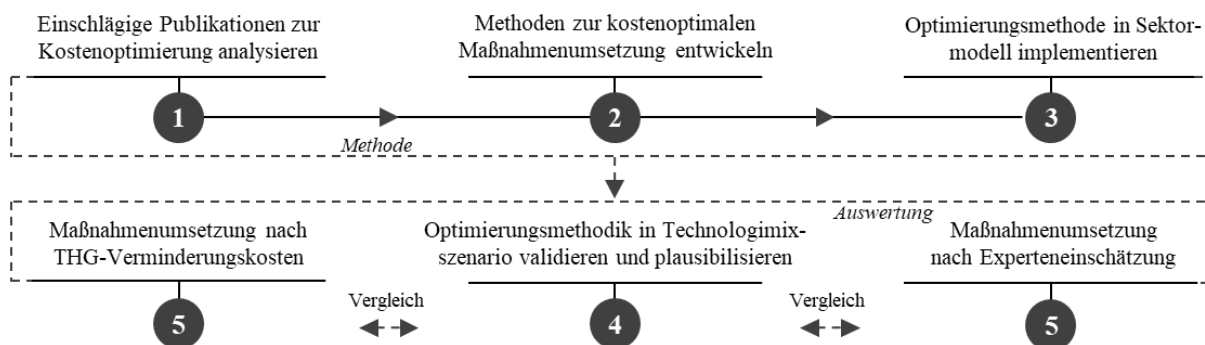


Abbildung 1: Überblick Methodik

Im Rahmen der Methodenentwicklung werden zunächst einschlägige Publikationen zur Kostenoptimierung im Industrie- und Bereitstellungssektor identifiziert und analysiert (1). Basierend auf der bestehenden Literatur werden neue Ansätze zur kostenoptimalen Umsetzung von industriellen THG-Vermeidungsmaßnahmen entwickelt (2). Ausgangsbasis der Optimierung bildet eine lineare Funktion, die Maßnahmen unter der Berücksichtigung von technologiespezifischen Nebenbedingungen kostenminimal kombiniert. Beispielsweise ist die Geschwindigkeit des Technologiehochlaufs bei der Kostenoptimierung begrenzt. Weiterhin wird die Technologieverfügbarkeit berücksichtigt. Die entwickelte Optimierungsmethode wird anschließend in Smlnd implementiert (3). Grundlegende Anpassungen der Berechnungsstruktur des Modells sind hierfür vorzunehmen. Beispielsweise wird die Maßnahmenumsetzung im Modell an ein vorgegebenes Klimaschutzambitionsniveau gebunden. Die entwickelte Optimierungsmethode im Industriemodell wird durch konsistente, industrielle Technologiemixszenarien mit Zeithorizont bis 2050 validiert und plausibilisiert (4). Um die Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Maßnahmenumsetzung im Modell vergleichen zu können und damit den Mehrwert einer Kostenoptimierung abzuschätzen, werden kostenoptimale Transformationspfade mit auf abweichender Umsetzungslogik basierenden, inhärenten Szenarien in Sensitivitätsanalysen verglichen (5). Einerseits wird die Optimierungsmethode der Maßnahmenumsetzung nach statischen, jahresspezifischen THG-Vermeidungskosten gegenübergestellt [5]. Andererseits wird ein Vergleich mit der Maßnahmenumsetzung nach Experteneinschätzung angestellt [5].

Ergebnisse

Im Rahmen der Publikation wird eine Methodik entwickelt, die es dem Sektormodell Industrie ermöglicht, kostenminimale Transformationspfade aus makroökonomischer Perspektive abzuleiten. Im Gegensatz zu anderen Modellen, die industrielle Transformationspfade festlegen, wird die Geschwindigkeit der Maßnahmenumsetzung an ein vorgegebenes Klimaschutzambitionsniveau gebunden. Die Grundlage für die lineare Optimierung bildet eine Kostenfunktion, welche die Maßnahmenkombination bei minimalen Kosten und gegebener CO₂-Zielsetzung berechnet. Zwei konkrete Optionen werden realisiert: Einerseits erfolgt die Maßnahmenumsetzung nach vorgegebenem CO₂-Budget. So bildet ein sich in Abhängigkeit des THG-Emissionsausstoßes jahresspezifisch verringertes CO₂-Budget die Basis für die kostenminimale Umsetzung von THG-Vermeidungsmaßnahmen. Bei dieser Option werden demgemäß kumulierte Gesamtemissionen als Zielparameter herangezogen. Es können Transformationspfade für die deutsche Industrie abgeleitet werden, die mit den IPCC-Vorgaben und der damit verbundenen Erderwärmung konform sind. Die zweite Option bietet andererseits erhöhte Freiheitsgrade im Modell, indem CO₂-Vermeidungsziele für wenige Stützjahre festgesetzt werden. Das Modell kann bei dieser Variante freier entscheiden, zu welchem Zeitpunkt und in welchem Maße THG-Vermeidungsmaßnahmen umgesetzt werden, solange die CO₂-Vermeidung im Zieljahr erreicht wird. Die kumulierten THG-Emissionen des Transformationspfads sind jedoch nicht an ein CO₂-Budget gebunden und können die eines vorgegebenen IPCC-Pfads über- oder unterschreiten. Die Optimierung in der Industrie aus makroökonomischer Perspektive schafft die Option, kosteneffiziente Industrieszenarien aus Systemsicht abzuleiten. Die entwickelten Transformationspfade können als politische Entscheidungsgrundlage herangezogen und der regulatorische Rahmen, falls erforderlich, angepasst werden. Durch sensitive Analysen verschiedener Umsetzungsmethoden wird zudem der Mehrwert einer kostenoptimalen Maßnahmenkombination im Industriesektor herausgearbeitet. Die Publikation kann somit einen wesentlichen Beitrag zu einer kosteneffizienten Energiewende und der damit verbundenen THG-Vermeidung im Industriesektor leisten.

Referenzen

- [1] Masson-Delmotte, Valérie et al.: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger - Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. Genf: IPCC, 2018.
- [2] IPCC-Sonderbericht über 1,5 °C globale Erwärmung - Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. Bonn: Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, 2019.
- [3] M., Guizzardi, D., Schaaf, E., Crippa, M., Solazzo, E., Olivier, J.G.J., Vignati, E. Fossil CO2 emissions of all world countries - 2018 Report, EUR 29433 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97240-9, doi:10.2760/30158, JRC113738.
- [4] Klimaschutz in Zahlen - Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Berlin: BMU, 2018.
- [5] Hübner, Tobias et al.: 2019 Small-scale modeling of individual GHG abatement measures in the industry. In: 8th International Ruhr Energy Conference (INREC) (University Duisburg-Essen) 09/2019. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FfE), 2019.
- [6] Coninck, Heleen et al.: Strengthening and Implementing the Global Response - In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf: IPCC, 2018.
- [7] Hübner, Tobias et al.: Application-side merit-order-curves for synthetic fuels in the German energy system. In: 13th International Conference on Energy Economics and Technology Mai/2019. Dresden: TU Dresden, 2019.
- [8] Hübner, Tobias et al.: Die Rolle synthetischer Brennstoffe zur Erreichung der klimapolitischen Ziele - Bedeutung im Jahr 2050. In: BWK (Brennstoff, Wärme, Kraft) - Das Energie-Fachmagazin 10/2018. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, 2018.
- [9] Fleiter, Tobias et al.: A methodology for bottom-up modelling of energy transitions in the industry sector: The FORECAST model. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI), 2018.
- [10] Kube, Mathias et al.: Marktverfügbare Innovationen mit hoher Relevanz für die Energieeffizienz in der Industrie. Berlin: Ecofys, 2017.
- [11] Primes model version 2018 - Detailed model description. Athens: E3M-Lab, National Technical University of Athens, 2019.
- [12] Schneider, Clemens et al.: Risks and opportunities associated with decarbonising Rotterdam's industrial cluster. In: Environmental Innovation and Societal Transitions 05/2019. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2019.
- [13] Lorenczik, Stefan et al.: Kosteneffiziente Umsetzung der Sektorenkopplung. Köln: ewi Energy Research & Scenarios GmbH, 2018.

- [14] Fattler, Steffen; Conrad, Jochen; Regett, Anika et al.: Dynamische und intersektorale Maßnahmenbewertung zur kosteneffizienten Dekarbonisierung des Energiesystems (Dynamis) - Hauptbericht. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 2019.
- [15] Hübner, Tobias et al.: Industrie 2050: Energiewende in der Industrie. In: et-Energiewirtschaftliche Tagesfragen (Ausgabe 8, 2019). Essen: etv Energieverlag GmbH, 2019.
- [16] Joas, Fabian et al.: Klimaneutrale Industrie - Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin, Wuppertal: Agora Energiewende, 2019.
- [17] Purr, Katja et al.: Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität: RESCUE-Studie. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2019.
- [18] Gebert, Philipp et al.: Klimapfade für Deutschland. München: The Boston Consulting Group (BCG), prognos, 2018.
- [19] Günther, Jens et al.: Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten. Berlin: Umweltbundesamt, 2017.
- [20] Pfluger, Benjamin et al.: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), 2017.
- [21] Capros, P. et al.: EU Reference Scenario 2016 - Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Brüssel: Europäische Kommission, 2016.
- [22] Repenning, Julia; Emele, Lukas; Blanck, Ruth et al.: Klimaschutzszenario 2050 - 2. Endbericht. Berlin: Öko-Institut e.V., 2015
- [23] Schlesinger, Michael; Lindenberger, Dietmar; Lutz, Christian: Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose - Projekt Nr. 57/12 - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 2014.
- [24] Böing, Felix; Murmann, Alexander; Pellingner, Christoph: ISAaR - Integriertes Simulationsmodell zur Anlageneinsatz- und Ausbauplanung mit Regionalisierung in: <https://www.ffe.de/themen-und-methoden/modelle-und-tools/625-isaar-integriertes-simulationsmodell> (Abruf:12.09.2017) Archived by WebCite <http://www.webcitation.org/6tQ5Gxmi1>. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 2016
- [25] Hübner, Tobias et al.: Die Rolle von Kraft-Wärme-Kopplung im zukünftigen Energiesystem. In: BWK - Das Energiefachmagazin 05/2019. Düsseldorf: VDI Fachmedien GmbH & Co. KG Unternehmen für Fachinformationen, 2019.
- [26] Döhrn, Roland et al.: Analyse und Prognose des Spar- und Konsumverhaltens privater Haushalte: Endbericht - November 2010. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), 2010.
- [27] Ebel, Bernhard et al.: Automotive Management - Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft - 2. Auflage. Köln: EbelHofer Strategy & Management Consultants GmbH, 2014.
- [28] Bieg, Hartmut et al.: Achter Abschnitt Die Beurteilung der Investitionsrechnungsverfahren. In: Investition - 3. vollständig überarbeitete Auflage. München: Universität des Saarlandes, 2016.
- [29] Hübner, Tobias et al.: Modellgestützte Analyse synthetischer Brennstoffe in der Industrie bei ambitioniertem Klimaschutz. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FfE), 2019.