

DER WERT VON RECYCLING FÜR TREIBHAUSGASARME ENERGIESYSTEME

Felix KULLMANN^{1,*}, Peter MARKEWITZ¹, Leander KOTZUR¹, Detlef STOLTEN^{1,2}

Motivation

Energiesystemmodelle werden verwendet, um zukünftige Strukturen der Energieversorgung und -nachfrage zu analysieren und die Auswirkungen politischer Maßnahmen auf ein Energiesystem zu bewerten [1]. Obwohl sich die nationalen Energiesysteme drastisch verändern müssen, um in Zukunft eine emissionsfreie Energieversorgung zu gewährleisten, ist die konkrete Ausgestaltung eines zukünftigen Energiesystems noch nicht klar [2]. Es gibt eine Reihe von Studien, die mit Hilfe von Energiesystemmodellen nationale CO₂-Minderungsszenarien für Deutschland erstellen, die mögliche Transformationspfade hin zu einem Energiesystem im Jahr 2050 aufzeigen. In den meisten Szenarien wird die Kreislaufwirtschaft im Sinne der Ressourceneffizienz oder der stofflichen Verwertung von CO₂-Strömen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Inwieweit solche Maßnahmen Teil effizienter Treibhausgasminderungsstrategien sind und welche Auswirkungen ihr Fehlen auf das gesamte deutsche Energiesystem hat, wurde bisher nicht untersucht [3]. Vor diesem Hintergrund wurde ein bestehendes Energiesystemmodell weiterentwickelt, indem die entsprechenden industriellen Prozesse modelliert und parametrisiert wurden. Mit dem Modellansatz ist es möglich, Recyclingmaßnahmen im Kontext nationaler Treibhausgasminderungsstrategien für das deutsche Energiesystem zu analysieren. Zudem ist es möglich, die Auswirkungen von Recyclingmaßnahmen auf das gesamte Energiesystem hinsichtlich Kosten, Emissionen und Energieverbrauch zu quantifizieren und zu bewerten.

Methodik

Das nationale integrierte Energiesystemmodell für Deutschland NESTOR [4] wird durch die Einbeziehung von Recyclingprozessen verfeinert. Die Recyclingraten für bestimmte Materialien werden in NESTOR nicht exogen vorgegeben, sondern sind selbst Teil der Modelllösung und unterliegen damit der Kostenoptimalität. Die Kosten sowie der Material- und Energiebedarf werden für die gesamte Recyclingkette und für das Recycling eines Materials angesetzt. Somit konkurrieren im kostenoptimalen System die Prozesse zur Primärproduktion eines Materials mit den Prozessen zur Wiederverwendung von Schrott (Abbildung 1).

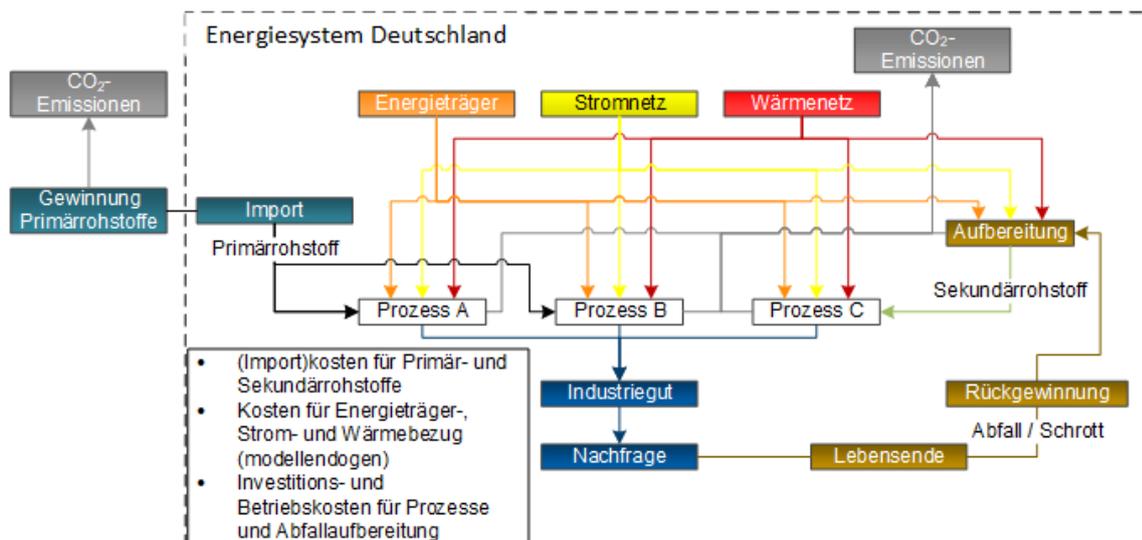


Abbildung 1 Herstellung von Industriegütern über Primär- und Sekundärrouten in NESTOR

¹ Institut für Energie- und Klimaforschung, Technoökonomische Systemanalyse (IEK-3) Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich, Deutschland

² Lehrstuhl für Brennstoffzellen, RWTH Aachen University, c/o Institut für Energie- und Klimaforschung, Technoökonomische Systemanalyse (IEK-3) Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich, Deutschland

* Nachwuchsaut. E-Mail-Adresse: f.kullmann@fz-juelich.de (F. Kullmann).

In einem Referenzszenario *REF95* werden die CO₂-Emissionen im Jahr 2050 im Vergleich zu 1990 um 95 % reduziert und heutige Recyclingraten bis 2050 fortgeschrieben. Das Szenario *w/oRec* stellt einen Extremfall dar, bei dem die THG-Minderung bis zum Jahr 2050 ohne Recycling erfolgen muss. Für das Szenario *RecX* wird dem Modell die Möglichkeit gegeben, die theoretischen maximalen Recyclingraten voll auszuschöpfen.

Ergebnisse

Die Szenarien *w/oRec* und *RecX* veranschaulichen die Auswirkungen von Recycling als Energieeffizienzmaßnahme. In Abbildung 2 ist der industrielle Endenergiebedarf dargestellt. Ohne Recycling steigt der Endenergieverbrauch der Industrie um etwa 300 TWh. Andererseits führt eine Erhöhung der Recyclingquoten zu einer Verringerung des Endenergiebedarfs um etwa 200 TWh.

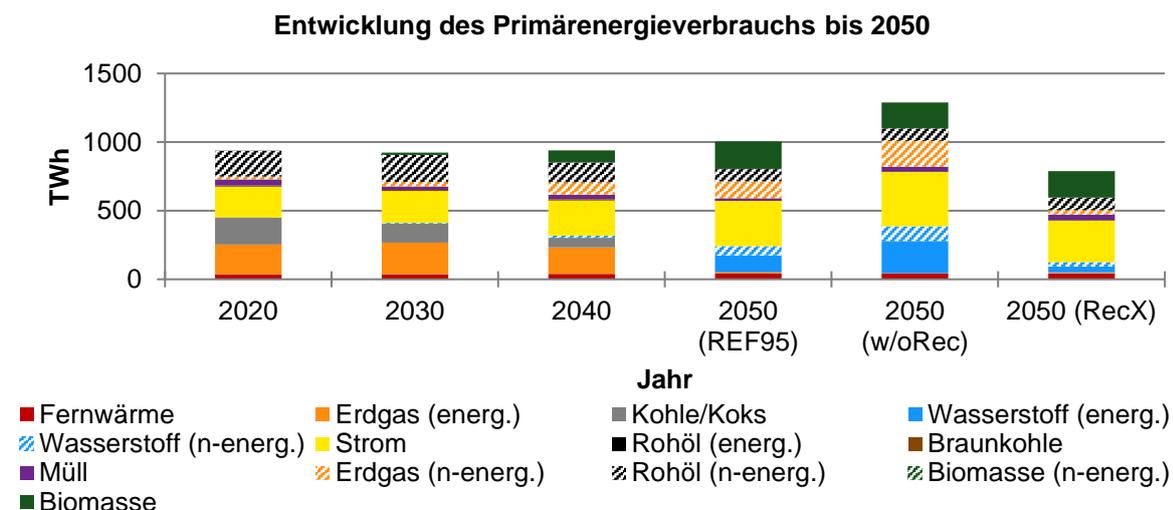


Abbildung 2 Entwicklung des industriellen Endenergiebedarfs im Referenzszenario und Vergleich mit den Recycling-Szenarien im Jahr 2050

Die größte Veränderung ist bei der Nachfrage nach Wasserstoff zu beobachten. Im Szenario *w/oRec* benötigt der Industriesektor im Jahr 2050 mehr als 340 TWh Wasserstoff, um den höheren Anteil der Primärrohstoffherzeugung zu kompensieren. Im Vergleich zum Referenzszenario werden zusätzlich 65 TWh Erdgas für die nicht-energetische Nachfrage benötigt. Recycling ist für das Energiesystem als Maßnahme zur Minderung der Transformationskosten von großer Bedeutung und sollte als Element einer Treibhausgasreduzierungsstrategie stärker berücksichtigt werden. Die Ergebnisse verdeutlichen darüber hinaus, dass der gewählte Modellansatz und die Modellphilosophie geeignet sind, um Aussagen über Recycling im Rahmen von Treibhausgasreduzierungsstrategien zu treffen.

Referenzen

- [1] Hoffman KC, Wood DO. Energy System Modeling and Forecasting. Annu. Rev. Energy. 1976;1(1):423–53.
- [2] Rogelj J, Luderer G, Pietzcker RC, Kriegler E, Schaeffer M, Krey V et al. Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 °C. Nature Climate Change 2015;5:519 EP -.
- [3] Kullmann F, Markewitz P, Stolten D, Robinius M. Combining the worlds of energy systems and material flow analysis: a review. Energ Sustain Soc 2021;11(1).
- [4] Lopion, Markewitz, Stolten, Robinius. Cost Uncertainties in Energy System Optimization Models: A Quadratic Programming Approach for Avoiding Penny Switching Effects. Energies 2019;12(20):4006.