

Der Wert von Recycling für das Gelingen der deutschen Energiewende

Themenbereich 9

Felix Kullmann¹⁽¹⁾, Peter Markewitz⁽¹⁾, Leander Kotzur⁽¹⁾, Detlef Stolten^(1, 2)

⁽¹⁾ Institut für Energie- und Klimaforschung: Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3), Forschungszentrum Jülich GmbH

⁽²⁾ Lehrstuhl für Brennstoffzellen, RWTH Aachen University

Motivation und zentrale Fragestellung

Im „European Green Deal“ fordert die Europäische Kommission eine Mobilisierung der Industrie für eine saubere und kreislauforientierte Wirtschaft [1]. Um Klimaneutralität zu erreichen, müssen deswegen die Synergien zwischen der Kreislaufwirtschaft und der Verringerung von Treibhausgasemissionen so gut wie möglich ausgenutzt werden [2]. Mithilfe der Kreislaufwirtschaft sollen sowohl bisher nicht ausgeschöpfte Emissionsminderungspotenziale der Ressourceneffizienz erschlossen werden als auch die stoffliche Nachfrage der chemischen Industrie vollständig auf erneuerbare Rohstoffe umgestellt werden (Defossilisierung). Gleichzeitig sind die Treibhausgasminderungsziele bis zum Jahr 2050 einzuhalten. Offen ist, welche Auswirkungen bestimmte Recyclingmaßnahmen und Defossilisierungsstrategien auf die Transformation des deutschen Energiesystems haben, insbesondere im Hinblick auf Kosteneffizienz und Treibhausgasminderungspotenzial.

Methodische Vorgangsweise

Um die Effekte von Recyclingmaßnahmen systemisch und quantitativ bewerten zu können, ist eine Verknüpfung von Energiesystem- und Stoffstrommodellierung erforderlich [3]. Als Grundlage für die Analysen wird das integrierte nationale Energiesystemmodell FINE-NESTOR für Deutschland eingesetzt [4]. Dieses sektoral und zeitlich hoch aufgelöste Modell berechnet für das Jahr 2050, sowie den Transformationspfad dorthin, das kostenoptimale Energiesystemdesign für Deutschland unter Berücksichtigung von Klimagasreduktionszielen. Um Aussagen über die Transformation der deutschen Industrie treffen zu können, wurde das Energiesystemmodell um grundlegende Erweiterungen der Modellierung des Industriesektors weiterentwickelt. Industrieprozesse werden so detailliert abgebildet, dass mehr als 66% des heutigen industriellen Endenergieverbrauchs prozessscharf optimiert werden. Dadurch lassen sich Recyclingverfahren bewerten und Strategien zur Defossilisierung des nicht-energetischen Bedarfs untersuchen. Recyclingoptionen werden als zusätzliche Alternative zu den konventionellen Prozessen, die auf Primärrohstoffe angewiesen sind, implementiert. Dadurch stehen sie in Konkurrenz, um die jeweilige Güternachfrage kostenoptimal, bei gleichzeitiger Einhaltung der CO₂-Emissionen des Gesamtsystems, decken zu können. Dementsprechend werden keine Recyclingquoten exogen vorgegeben, sondern modellendogen als Teil der Optimierung berechnet. Die zukünftig verfügbare Menge an Sekundärrohstoffen wird durch einen Ansatz aus der Materialflussmodellierung abgeschätzt. Dabei wird über eine Häufigkeitsverteilung berechnet, in welchem Jahr eine bestimmte Menge eines Materials aus dem vorhandenen anthropogenen Bestand anfällt und dem Energiesystem wieder als Sekundärrohstoff zu Verfügung steht.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 95% im Jahr 2050 ohne Recyclingmaßnahmen ist nur durch einen erheblichen finanziellen Mehraufwand zu erreichen. Im Gegensatz zum Referenzfall steigen die kumulierten Kosten der Transformation um 84%, bzw. 557 Mrd. €, zusätzlich an. Weiterhin lässt sich feststellen, dass ohne Recycling bereits heute Mehrkosten in Höhe von 13 Mrd. €/a zu verzeichnen wären. Ohne die Verfügbarkeit von Recyclingverfahren ergibt sich außerdem ein Mehrbedarf für den Primärenergieverbrauch von 300 TWh im Jahr 2050, der fast ausschließlich durch einen höheren Endenergiebedarf im Industriesektor in Höhe von 285 TWh bedingt ist. Zusätzlich steigt der industrielle Wasserstoffbedarf um mehr als 150 TWh im Vergleich zu einem Szenario mit Recyclingoptionen an. Als weiteres Ergebnis können bspw. für die Stahlerzeugung im Jahr 2050 Maximalkosten für Stahlschrott identifiziert werden, bei denen Stahlrecycling weiterhin eine kosteneffiziente CO₂-Reduktionsmaßnahme bleibt (vgl. Abbildung 1). Die Maximalkosten liegen etwa 300 €/t über den

¹ „Jungautor“ Forschungszentrum Jülich GmbH, Tel. +49 2461-85446, f.kullmann@fz-juelich.de

heutigen Stahlschrottkosten und verdeutlichen, dass Stahlrecycling eine sehr kosteneffiziente CO₂-Minderungsmaßnahme gegenüber anderen Reduktionsmöglichkeiten darstellt.

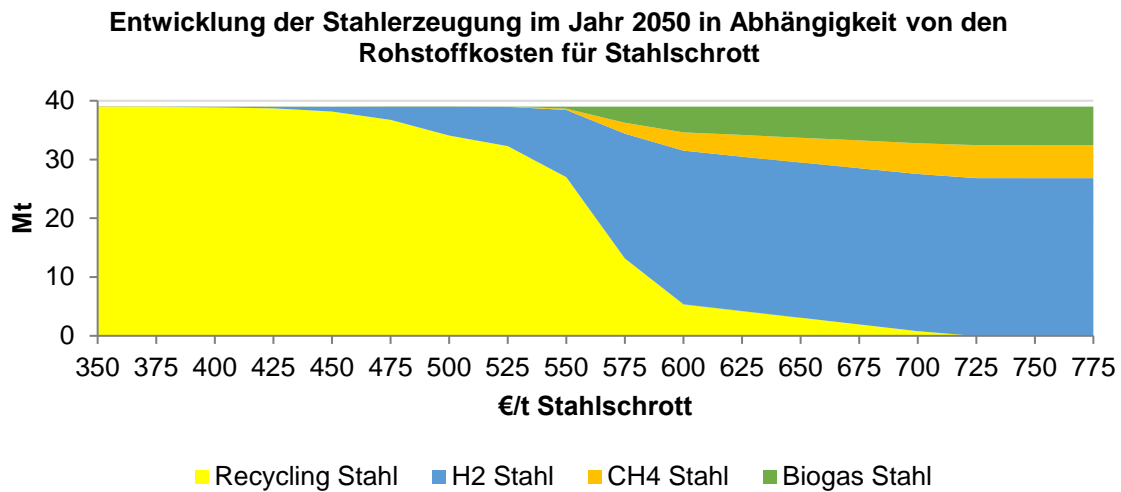


Abbildung 1 Stahlerzeugung in Mt nach Herstellungsverfahren im Jahr 2050 in Abhängigkeit von den Kosten für Stahlschrott

Anstrengungen die Recyclingraten zu erhöhen, haben großes Potenzial den finanziellen Aufwand der Energiewende zu verringern. Im Vergleich zu einer Fortschreibung der heutigen Recyclingraten, können die Transformationskosten auf diese Weise um bis zu 26% verringert werden.

Literatur

- [1] European Commission. The European Green Deal; 2019.
- [2] European Commission. A new Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe; 2020.
- [3] Kullmann F, Markewitz P, Stolten D, Robinius M. Combining the worlds of energy systems and material flow analysis: a review. *Energy 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.