

Modernisierung und Innovation bei CO₂-intensiven Materialien: Lehren aus der Stahl- und Zementindustrie

Von Karsten Neuhoff, Andrzej Ancygier, Jean-Pierre Ponsard, Philippe Quirion, Nagore Sabio, Oliver Sartor, Misato Sato und Anne Schopp

Seit 2007 ist die europäische Zement- und Stahlindustrie mit einer starken Nachfragereduktion konfrontiert, die zu Überkapazitäten führte. Aus diesem Grund kommt es nur in begrenztem Maße zu Reinvestitionen bei Produktionsanlagen. Dies gefährdet jedoch die längerfristige Wirtschaftlichkeit und den Erhalt vieler Anlagen. Neue Perspektiven für diese Branchen könnten sich aus Innovations- und Modernisierungsoptionen ergeben, die im Zusammenhang stehen mit neuen Anforderungen an effizientere und CO₂-ärmere Produktionsprozesse, mit einer steigenden Nachfrage nach höherwertigen Materialien mit geringerem Gewicht und mit neuen Anwendungen in den Bau-, Transport- und Energiesektoren. Allerdings wurden bisher nur wenige dieser Möglichkeiten genutzt, was auf die bisherigen politischen Maßnahmen zurückgeführt werden kann.

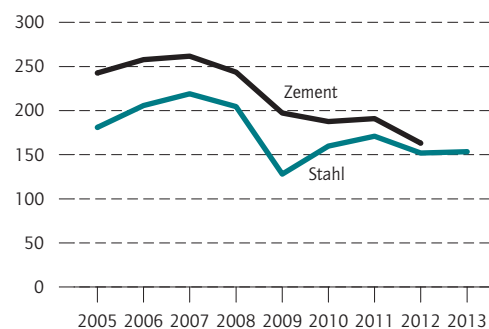
In Zukunft können solche Innovations- und Modernisierungsmöglichkeiten verstärkt wahrgenommen werden, wenn eine langfristige Perspektive geschaffen wird: Dazu gehört erstens ein effektiver CO₂-Preis, der aus dem EU-Emissionshandelssystem hervorgeht. Er gibt Produzenten einen Anreiz zur Umstellung auf eine CO₂-ärmere Produktion und Zwischen- und Endverbrauchern Anreize für die Nutzung CO₂-ärmerer Materialien sowie eine effizientere Verwendung des jeweiligen Materials. Zweitens ist die öffentliche Förderung von Innovationen einschließlich Demonstrationsprojekten zur Kommerzialisierung neuer Prozesse und Materialien erforderlich. Drittens sollte eine Anpassung institutioneller Rahmenbedingungen wie Normen und Standards sowie die Ausbildung von Handwerkern erfolgen, um die Nutzung von neuen Produktionsprozessen und Materialien zu ermöglichen.

Zwischen 2007 und 2012 ging die Nachfrage nach CO₂-intensiven Materialien wie Stahl und Zement in Europa um mehr als 30 Prozent zurück (Abbildung 1). Es ist damit zu rechnen, dass die Nachfrage auch in den kommenden Jahren unterhalb des Vorkrisenniveaus verbleibt.

Dieser Rückgang führte zu niedrigen Gewinnspannen und zu Verlusten. Diese werden andauern, bis die Produktionskapazitäten sich der Nachfrage angepasst haben, was vermutlich durch Schließungen erfolgen wird (Abbildung 2). Obwohl dies nichts mit Klimapolitik zu tun hat, verringert es doch die Chancen auf Reinvestitionen. Reinvestitionen sind jedoch wichtig, um das längerfristige Überleben der Anlagen in Europa nicht zu gefährden. Finanzielle Schwierigkeiten, die sich aus dem Überangebot ergeben, können zugleich die Gestaltung und Umsetzung von längerfristigen Strategie-

Abbildung 1

Verbrauch von Stahl und Zement in Europa (EU-28) In Millionen Tonnen Fertigprodukten



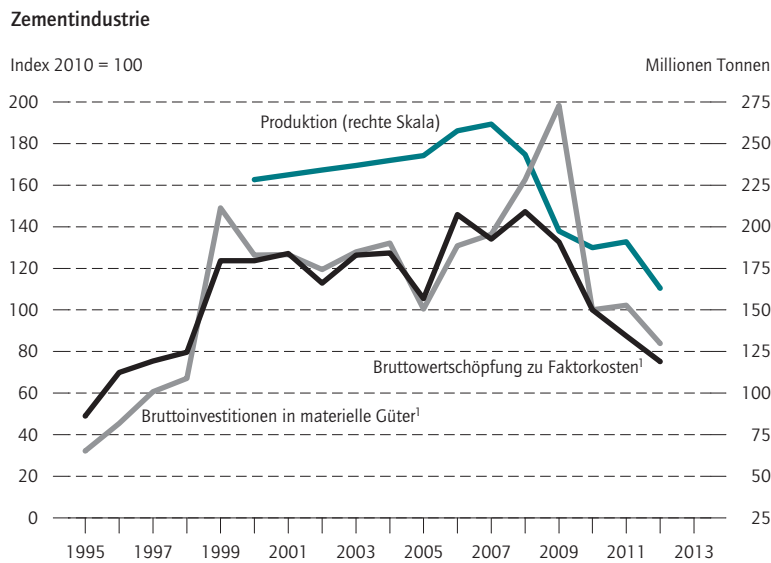
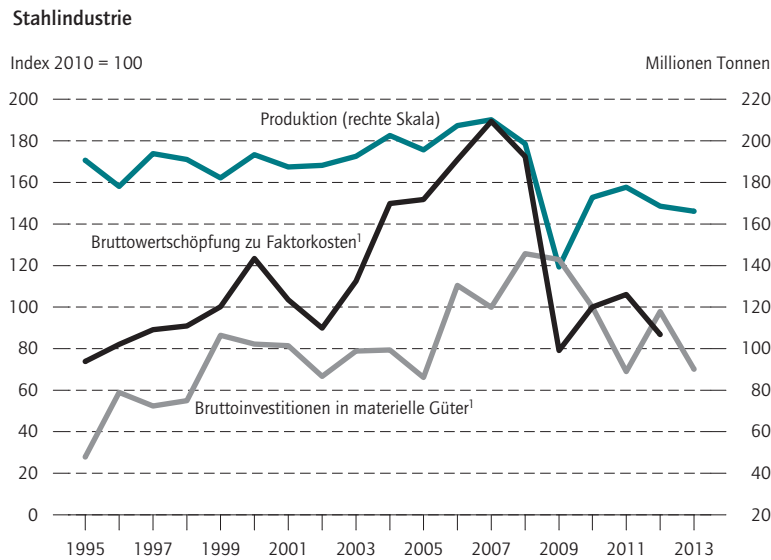
Quellen: Cement Sustainability Initiative; World Steel Association.

© DIW Berlin 2015

Der Verbrauch von Stahl und Zement hat das Vorkrisenniveau nicht wieder erreicht.

Abbildung 2

Der Europäische Stahl- und Zementsektor



¹ Auf der Grundlage aller verfügbarer Informationen in den jeweiligen Statistiken der einzelnen EU-27-Länder berechnet. Alle Werte in Preisen von 2010.

Quellen: Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Eurostat, der World Steel Association und der Cement Sustainability Initiative.

© DIW Berlin 2015

Die Bruttoinvestitionen liegen unter dem Vorkrisenniveau.

gien verzögern. Deshalb sind zusätzliche Anstrengungen nötig, um die betroffenen Sektoren bei der Gestaltung und Umsetzung von Strategien einer klimafreundlichen Zukunft einzubinden.

Im Jahr 2012 war die Eisen- und Stahlproduktion¹ für etwa 15 Prozent der industriellen Treibhausgasemissionen in Europa verantwortlich. Weitere 23 Prozent stammen aus der Zementproduktion.² Zu den weiteren emissionsintensiven Materialien gehören Zellstoffs und Papier, Kunststoffe sowie Nichteisenmetalle wie Aluminium und Kupfer. In diesen Sektoren werden die meisten Emissionen bei der Produktion von Vormaterialien verursacht, zum Beispiel warmgewalzter Stahl auf Basis von in Hochöfen produziertem Roheisen.³ Die Konzentration eines großen Teils der industriellen CO₂-Emissionen in der Herstellung weniger CO₂-intensiver Materialien ermöglicht eine gezielte Gestaltung und Bewertung von Politikmaßnahmen. So können die verschiedenen Innovations- und Modernisierungspotenziale erschlossen werden, um die politisch vereinbarten Emissionsminderungsziele von europaweit 40 Prozent bis 2030 und 80 bis 95 Prozent bis 2050 gegenüber dem Jahr 1990 zu erreichen.⁴

In einem zweijährigen europäischen Forschungsprojekt wurden die Erfahrungen der Stahl- und Zementindustrie mit verschiedenen Innovations- und Modernisierungsmöglichkeiten untersucht. Zudem wurde bewertet, wie Marktentwicklungen und Politikmaßnahmen die Entscheidungen der Industrie beeinflusst haben (Kasten). Darauf aufbauend wurde untersucht, wie ein Paket von Politikmaßnahmen zu einem attraktiven Investitionsumfeld und somit zu einer nachhaltigen Entwicklung der entsprechenden Sektoren in Europa führen kann.⁵

Ein Portfolio an Modernisierungsmöglichkeiten in der Stahl- und Zementindustrie

Die Entwicklung der Stahl- und Zementindustrie in Europa wurde in den letzten Jahren durch die Wirtschaftskrise dominiert. Im Folgenden versuchen werden einzelne Entwicklungen aufgezeigt, die zusätzlich zum allgemeinen Trend zu beobachten waren. Dazu werden die Entwicklungen bei drei Typen von Modernisierungs- und Innovationsmöglichkeiten untersucht, die zur Einsparung von Ressourcen, Energie und CO₂-Emissionen in der Stahl- und Zementindustrie führen können (Abbildung 3): (i) Verbesserungen der Energieeffizienz durch einen gesenkten Energieverbrauch pro Produktionseinheit; (ii) Verbesserungen der CO₂-

- ¹ Im Folgenden wird die Eisen- und Stahlherstellung vereinfachend als „Stahlindustrie“ bezeichnet.
- ² Nach Daten der Europäischen Umweltagentur (EEA) aus dem Jahr 2015.
- ³ International Energy Agency (2007): Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. IEA/OECD, Paris.
- ⁴ Anfang Juni gaben die in der G7 versammelten Staats- und Regierungschefs eine gemeinsame Presseerklärung heraus, in der sie erneut ihr Ziel bestätigten, die Erderwärmung auf weniger als 2 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu beschränken.
- ⁵ Die Autoren danken Chris Beauman für seine Unterstützung.

Kasten

Das Climate-Strategies-Projekt „Carbon Control Post 2020 in Energy Intensive Industries“

In diesem Bericht werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Carbon Control Post 2020 in Energy Intensive Industries“ zusammengefasst, das unter der Leitung des DIW Berlin von Forschern des Netzwerks Climate Strategies (www.climatestrategies.org) durchgeführt wurde. Climate Strategies ist eine gemeinnützige Organisation, die mit Hilfe eines internationalen Expertennetzwerks die Lücke zwischen akademischer Forschung und Politik überbrücken möchte und internationalen Entscheidungsträgern unabhängige Analysen in den Themenfeldern Energie und Klima zur Verfügung stellt.

Das Projekt wurde mit der Unterstützung von Ministerien in Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich sowie von HeidelbergCement und Tata Steel Europe realisiert. Die in diesem Bericht dargestellten Inhalte und Positionen sind unabhängige Auffassungen der Autoren und nicht notwendigerweise die der Geldgeber.

Partner des DIW Berlin im Projekt waren CNRS-Ecole Polytechnique, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED), Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI) (alle Frankreich),

Hertie School of Governance, Universität Erlangen-Nürnberg (beide Deutschland), Radboud University Nijmegen (Niederlande), Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment at the London School of Economics and Political Sciences und University College London (beide Vereinigtes Königreich).

Ein erster Bericht über die Zementindustrie wurde im Februar 2014 veröffentlicht, gefolgt von einem zweiten Bericht zur Stahlindustrie im Oktober 2014.¹ Beide Berichte enthalten eine Analyse der bestehenden Literatur, Datenanalysen, eine rechtliche Bewertung, detaillierte Interviews mit ausgewählten Verantwortlichen von Stahlunternehmen, Workshops mit Regierungsvertretern, Vertretern der EU-Kommission, Nichtregierungsorganisationen und Industrievertretern.

¹ Vgl. Neuhoff, K., Vanderborght, B. et al. (2014): Carbon Control and Competitiveness Post 2020: The Cement Report. Climate Strategies, London, Februar 2014; sowie Neuhoff, K., Acworth, W. et al. (2014): Carbon Control and Competitiveness Post 2020: The Steel Report. Climate Strategies, London, Oktober 2014.

Effizienz durch eine Reduzierung der CO₂-Intensität von Brennstoffen oder Technologieentwicklungen wie CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) oder CO₂-Abscheidung und -Nutzung (CCU); (iii) eine effizientere Materialverwendung und die Verwendung von Materialien mit geringerer CO₂-Intensität.

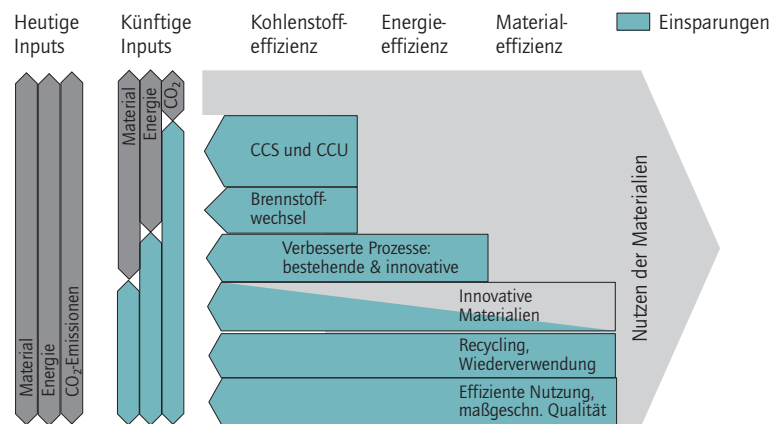
Das Potenzial für Verbesserungen der Energieeffizienz ist beschränkt

Energiekosten machen einen erheblichen Teil der Gesamtproduktionskosten CO₂-intensiver Materialien wie Stahl und Zement aus. Aus diesem Grund haben Verbesserungen der Energieeffizienz schon seit langem eine herausragende Bedeutung für die Unternehmen und werden besser verstanden als in anderen Industriesektoren. Es wird jedoch geschätzt, dass das Potenzial für Steigerungen der Energieeffizienz in der primären Stahl- und Zementproduktion europäischer Anlagen mit den bestehenden Technologien nur bei zehn bis 20 Prozent liegt.

Gezielte Investitionen in Effizienzsteigerungen erfolgen nur, wenn sie sich durch verringerte Energie- und CO₂-Kosten innerhalb von zwei bis vier Jahren amorti-

Abbildung 3

Modernisierungs- und Innovationschancen für den Material- und Energieverbrauch sowie die CO₂-Emissionen



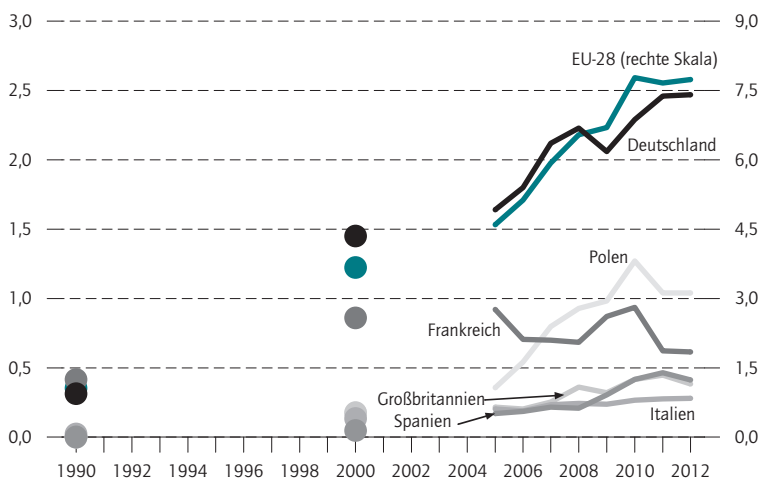
Quelle: Darstellung der Autoren.

© DIW Berlin 2015

Ein Portfolio von Modernisierungs- und Innovationsoptionen ermöglicht substantielle Emissionsreduktionen und Einsparungen von Rohstoffen und Energie.

Abbildung 4

Nutzung alternativer fossiler Brennstoffe¹ bei der Zementherstellung
In Millionen Tonnen



¹ Alternative fossile Brennstoffe bestehen aus vorbehandelten Abfällen ohne Biomasse-Abfälle.

Quelle: Cement Sustainability Initiative, GNR Indicator 313.

© DIW Berlin 2015

Die Nutzung alternativer Brennstoffe hat deutlich zugenommen.

sieren.⁶ Eine solch kurze Amortisationszeit ist eine in der Industrie weit verbreitete Voraussetzung für Investitionen in Maßnahmen zur Kostenersparnis.

Deswegen werden die meisten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz als Teil umfassender Modernisierungs- oder Ersatzinvestitionen umgesetzt. Wegen der langen Lebensdauer der Anlagen werden diese jedoch nicht in Intervallen von wenigen Jahren, sondern eher von Jahrzehnten durchgeführt. Die aktuellen Überkapazitäten können zu einer weiteren Verzögerung von Reinvestitionen führen.

In vielen Fällen wurde schon auf neue Brennstoffe umgestellt

Zwischen 2005 und 2011 reduzierte die Zementindustrie die brennstoffbedingte CO₂-Intensität – welche etwa ein Drittel der gesamten Emissionen der Branche ausmacht – um sechs Prozent.⁷ Dies wurde erreicht, in-

⁶ Vgl. Neuhoff, K., Vanderborght, B. et al. (2014): Carbon Control and Competitiveness Post 2020: The Cement Report. Climate Strategies, London, Februar 2014; sowie Neuhoff, K., Acworth, W. et al. (2014): Carbon Control and Competitiveness Post 2020: The Steel Report. Climate Strategies, London, Oktober 2014.

⁷ Für eine detaillierte Analyse vergleiche Branger, F., Quirion, F.P. (2015): Reaping the Carbon Rent: Abatement and Overallocation Profits in the

dem neun Prozent der verwendeten Kohle durch Biomasseabfall ersetzt wurde, welche nach den Standards des europäischen Emissionshandels (EU ETS) als CO₂-neutral gilt. Außerdem wurde die Mitverbrennung vorbehandelten Abfalls durch die EU-Abfallrahmenrichtlinie ermöglicht (Abbildung 4). Da die meisten Abfälle eine geringere CO₂-Intensität als Kohle aufweisen, führte auch dies zu Emissionsminderungen. Dabei folgte der Sektor finanziellen Anreizen – der Einkauf von Kohle als Brennstoff konnte reduziert werden und zugleich konnten Zementhersteller Erlöse durch die Verbrennung von Abfallprodukten erzielen.

In der Stahlindustrie können Emissionsminderungen von 20 bis 40 Prozent erreicht werden, wenn Kohle durch das weniger CO₂-emissionsintensive Erdgas substituiert wird. Dazu muss auf die Direktreduktion (DRI) in Kombination mit dem Einsatz von elektrischen Lichtbogenöfen (EAF) umgestiegen werden.⁸ Die Wirtschaftlichkeit des DRI-Prozesses hängt dabei allerdings von der Preisentwicklung von Kohle, Erdgas und CO₂-Emissionszertifikaten ab. Da aktuell der Gaspreis hoch und die Kohle- und CO₂-Preise niedrig sind, ist DRI in Europa nicht wirtschaftlich. Allerdings könnte DRI als Bestandteil innovativer Prozesstechnologien durchaus eine Rolle spielen.⁹

In beiden Branchen hängen etwa zwei Drittel der Emissionen mit Prozessemissionen aus der chemischen Umwandlung von Kalkstein in Zementklinker (im Fall von Zement) beziehungsweise der Reduktion von Eisenerz zu Roheisen (im Fall von Stahl) zusammen. Durch die Umstellung auf klimaschonende Brennstoffe und Verbesserungen bei der Energieeffizienz können diese Prozessemissionen nicht reduziert werden. Dies kann nur mit innovativen Produktionsprozessen wie CCS oder CCU erreicht werden.

Vielversprechende neue Prozesstechnologien sind für den kommerziellen Einsatz noch nicht verfügbar

Neu eingesetzte Technologien, wie zum Beispiel CCS oder CCU, werden als Möglichkeit erwogen, um Effizienzverbesserungen und großskalige Emissionsmin-

European Cement Industry, Insights from an LMDI Decomposition Analysis. Energy Economics 47, 189-205.

⁸ International Energy Agency (2013): Overview of the current state and development of CO₂ capture technologies in the iron-making process. IEAGHG Report 2013/TRC.

⁹ Der aktuellen Literatur zufolge wird die Einführung von DRI derzeit in den USA und Japan erwogen. Vgl. Fischeidick, M. et al. (2014): Technoeconomic evaluation of innovative steel production technologies. Journal of Cleaner Production 84, 563-580; sowie Pinegar H.K., Moats, M.S. et al. (2011): Process Simulation and Economic Feasibility Analysis for a Hydrogen-Based Novel Suspension Ironmaking Technology. Steel Research International 82, 951-963.

derungen zu erreichen, die mit den langfristigen Emissionsobergrenzen kompatibel sind.

Beim Stahl wird das Potenzial für solche innovativen Prozesstechnologien im Rahmen von ULCOS (European Ultra-Low Carbon Steelmaking) erforscht. Das ULCOS-Konsortium wurde als Reaktion auf die im Kontext der europäischen Klimapolitik erwartete Begrenzung der CO₂-Emissionen initiiert. Außerhalb Europas wurden ähnliche Initiativen entwickelt. Bisher ergaben sich daraus drei kleinere Demonstrationsprojekte für verschiedene Technologieoptionen, welche von privater und öffentlicher Hand gemeinsam finanziert wurden. Seit 2012 hat sich der Fortschritt jedoch verlangsamt, insbesondere weil die öffentliche Kofinanzierung nicht weitergeführt wurde. Eine schrittweise Steigerung der Finanzierung wäre notwendig gewesen, da die Investitionsanforderungen mit der stufenweisen Vergrößerung der Demonstrationsanlagen wachsen.

Im NER-300-Programm¹⁰ werden Erlöse aus dem Verkauf von EU-Emissionszertifikaten verwendet, um Innovationen in den Bereichen CCS und erneuerbare Energien zu unterstützen. Allerdings sahen Unternehmen mit CCS-Projekten die NER-300-basierte Förderung als zu riskant an, weil die finanzielle Unterstützung für ein Demonstrationsprojekt im Falle des Scheiterns zurückbezahlt werden muss.¹¹ Stahl- und Zementunternehmen fällt es schwer, das gesamte Risiko einer unerforschten Technologie zu tragen. Dies liegt auch an sogenannten Technologie-Spillover-Effekten, die von den Unternehmen nicht internalisiert werden können. Diese Erfahrungswerte sollten in die Ausgestaltung der neuen EU-Innovationsfinanzierung eingehen. Ein Beschluss des Europäischen Rates vom Oktober 2014 sieht vor, den zukünftigen Innovationsfonds für die Unterstützung von Innovationen bei der CO₂-Minderung im Industriebereich zu nutzen. Neben der Frage der finanziellen Förderung ist allerdings auch die mangelnde öffentliche Akzeptanz für CCS im Energiesektor in einigen Mitgliedsstaaten von Belang und erfordert effektive, frühzeitige Dialogmaßnahmen.

Damit Stahlunternehmen die innovativen Prozesstechnologien weiterentwickeln können, benötigen sie ein langfristiges Geschäftsmodell für eine großangelegte

Nutzung. Die meisten Prozess-Technologieoptionen beinhalten CCS, und damit auch erhöhte Investitions- und Betriebskosten. Unternehmen benötigen eine klare Perspektive, wer für diese Zusatzkosten aufkommt. Dies muss bei der Ausgestaltung der neuen EU-ETS-Maßnahmen zum Carbon-Leakage-Schutz, also zur Vermeidung der Verlagerung von CO₂-Emissionen ins Ausland, für den Zeitraum nach 2020 berücksichtigt werden.¹²

Die Verwendung maßgeschneiderter Materialien spart Energie, CO₂-Emissionen und Rohstoffe

Speziell für den jeweiligen Einsatzbereich maßgeschneiderte Materialien können es ermöglichen, die gleiche Produkteigenschaft mit geringerem Energie-, CO₂- und Rohstoffverbrauch zu erbringen. Ein Beispiel: Seitdem die Automobilindustrie das Gewicht ihrer Autos verringern muss, um steigenden Anforderungen an die Kraftstoffeffizienz zu genügen, liefert die Stahlindustrie innovative Produkte, die auf die speziellen Bedürfnisse der Automobilindustrie zugeschnitten sind. Mit hochfesten Stählen und neuen Umformungstechniken gelang es der Stahlindustrie, Karosserien seit etwa 2005 um etwa 25 Prozent leichter zu machen.¹³ Dadurch verringern sich die Gesamtemissionen, da die Emissionen der Stahlproduktion größtenteils proportional zum Gewicht des produzierten Stahls sind. Auch wenn diese Verlagerung von Menge zu Qualität die Nachfrage nach primären Stahlprodukten verringert, könnte sie für höhere Gewinnspannen und bessere Beschäftigungschancen bei höherwertigen Produkten sorgen.

Beim Einsatz von Stahl und Zement in der Bauindustrie ist ein vergleichbarer Fortschritt bisher ausgeblieben.¹⁴ Die Bauindustrie birgt erhebliches Emissionsminderungspotenzial durch den effizienteren Einsatz von Stahl und Zement. Beispiele sind die Verwendung maßgeschneiderter Formen, die Verteilung mehrerer Lasten auf weniger Tragkonstruktionen, die Ausrichtung von Lasten, um Verbiegung zu verhindern und das Vermeiden der Überspezifikation von Lasten.¹⁵ Ein deutlicher und glaubwürdiger CO₂-Preis als Teil der Produktpreise für Stahl und Zement würde dazu beitragen, dass CO₂-intensive Materialien in der Bauindustrie verstärkt maß-

10 Das NER-300-Programm wurde durch die überarbeitete Emissionshandelsrichtlinie 2009/29/EC geschaffen. Gemäß Artikel 10 (a) Absatz 8 sollen die Erlöse aus dem Verkauf von bis zu 300 Millionen Emissionszertifikaten verwendet werden, um kommerzielle Demonstrationsprojekte im Bereich CCS und erneuerbare Energien zu finanzieren. Für weitere Informationen zum EU NER-300-Programm vgl. ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ner300/documentation_en.htm.

11 In anderen Weltregionen, wie zum Beispiel in Japan, werden weiterhin Fortschritte im Rahmen des COURSE50-Programms sowie durch das Erforschen von Synergien zwischen klimaschonenden Innovationsoptionen und alternativen Energieträgern wie Wasserstoff gemacht.

12 Der Schutz vor Carbon Leakage bezieht sich auf spezielle Vorkehrungen, die das Risiko von Produktionsverlagerung wegen CO₂-Zusatzkosten vermeiden sollen. Für weitere Details vgl. in dieser Ausgabe Neuhoff, K., Acworth, W. et al. (2015): Maßnahmen zum Schutz vor Carbon Leakage für CO₂-intensive Materialien im Zeitraum nach 2020. DIW Wochenbericht Nr. 29+30/2015.

13 Zuidema, B. K. (2013): On the Role of Body-in-White Weight Reduction in the Attainment of the 2012–2025. US EPA/NHTSA Fuel Economy Mandate, Präsentation beim Great Design in Steel Seminar, USA.

14 Giesekam, J., Barrett, J. et al. (2014): The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. Energy and Buildings (78), 210.

15 Allwood, J. M. et al. (2012): Sustainable Materials: with both eyes open. Cambridge, UK.

geschneiderte angeboten und nachgefragt werden. Dies hängt jedoch auch davon ab, dass Baupraxis, Standards und Informationssysteme angepasst werden. Dies könnte gewisse Vorschriften zur Information erforderlich machen, zum Beispiel Kennzeichnungs- und Berichtspflichten, aber auch verbesserte Ausbildung und Zertifizierung. Dazu ist auch eine erhebliche Koordination entlang der gesamten Wertschöpfungskette notwendig.

Innovative Materialien – hohes Potenzial, aber nur begrenzte Anreize

Die Einführung innovativer Materialien könnte Emissionen in erheblichem Umfang verringern. Wie die Erfahrungen mit der Klinkersubstitution bei der Zementherstellung zeigen, birgt dieser Prozess allerdings einige Herausforderungen. Ein wesentlicher Bestandteil von Zement ist Zementklinker, der grundsätzlich aus Kalkstein erzeugt wird. Zementklinker kann jedoch teilweise auch durch Hüttensand beziehungsweise Schlacke (einem Nebenprodukt der Stahlproduktion) oder Flugasche (die aus dem Abgasstrom von Kohlekraftwerken gewonnen wird) ersetzt werden (Abbildung 5). Allerdings gab es in der Bauindustrie anfänglich Widerstand dagegen, solche Materialien einzusetzen, weil sich dadurch die technischen Eigenschaften des Betons veränderten, zum Beispiel die Früh- und Endfestigkeit, die Sulfatresistenz, die Farbe und die Verarbeitbarkeit. Dies könnte die Anpassung von Normen und Standards für Beton und Bauwerke verzögert haben, die früher einen hohen Klinkeranteil vorschrieben und damit den etablierten Beton- und Zementherstellern eine gesicherte Nachfrage bescherten. Dieser Widerstand konnte mittlerweile durch einen Dialog mit der Bauindustrie überwunden werden, beispielsweise durch Demonstrationsprojekte und einen Wissensaustausch über die positiven Erfahrungen mit den neuen Werkstoffen.

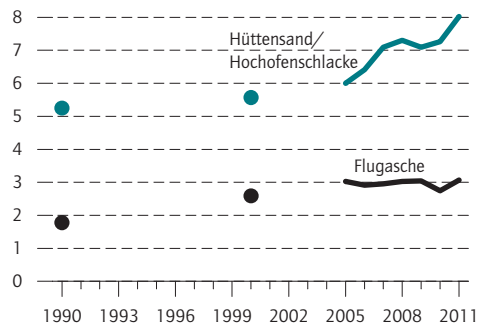
Klinkersubstitute sind in Europa je nach Region unterschiedlich verfügbar. Auch wenn das Potenzial des Einsatzes von Schlacke aus der Stahlproduktion größtenteils erschöpft ist, gibt es nach wie vor noch ein gewisses Potenzial, Flugasche aus Kohlekraftwerken einzusetzen. Da Kohle im Energiesektor künftig eine immer geringere Rolle spielen wird, wird sich auch die Verfügbarkeit von Flugasche reduzieren. Andere Klinkersubstitute wie beispielsweise Puzzolane können den Klinkeranteil in der Zementproduktion in der EU weiter verringern.

Eine Vielzahl neuer CO₂-armer Zementalternativen wird zurzeit untersucht. Von keinem dieser innovativen Zemente wird erwartet, dass er genau dieselben Eigenschaften besitzt wie konventioneller Zement. Stattdessen werden unterschiedliche CO₂-arme Zemente – möglicherweise sogar bevorzugt – für bestimmte Funktionen wie Schallisolierung, Stabilität und Brandschutz eingesetzt.

Abbildung 5

Nutzung ausgewählter Klinkersersatzstoffe in der europäischen Zementproduktion

Anteil an gesamter Zementproduktion in Prozent



Quelle: Cement Sustainability Initiative, GNR Indicator 3219.

© DIW Berlin 2015

Der Ersatz von Zementklinker reduziert die Emissionen, verändert aber auch die Zementzusammensetzung.

Ein weiterer Grund für die Herstellung einer größeren Palette unterschiedlicher CO₂-armer Zementtypen könnte darin liegen, dass die notwendigen Rohstoffe nur begrenzt verfügbar sind, denn wenige geeignete Stoffe stehen so umfassend zur Verfügung wie Kalkstein.

Zu den klimaschonenden Zementoptionen zählen auch neue Zemente, die auf vergleichsweise alten Ideen beruhen, zum Beispiel Calciumsulfoaluminat-Zement, Klinkermineralisierung sowie andere neue Produkte. Verantwortliche in der Zementindustrie legen dar, dass es zehn bis 15 Jahre dauern wird, solche neuen Produkte zu entwickeln und ihre Marktreife zu demonstrieren. Die vielleicht größte Hürde für Produktinnovation ist jedoch, dass es auf dem Markt keine Nachfrage nach klimaschonenden Produkten gibt, so lange die CO₂-Preise gering sind und sich in den Zementpreisen nicht widerspiegeln.

Den Fokus von der Quantität auch auf die Qualität von recycelten Werkstoffen ausweiten

Eine zurückgewonnene und recycelte Tonne Stahlschrott verursacht etwa 75 Prozent weniger Emissionen als eine Tonne neuproduzierten Stahls.¹⁶ Die Menge recycelten Stahlschrotts in Europa beträgt bereits

¹⁶ Durchschnittliche CO₂-Emissionen in der EU: 1 888 kg CO₂/Tonne bei integrierter Stahlerzeugung und 455 kg CO₂/Tonne für die sekundäre Stahlerzeugung. EUROFER (2013): A Steel Roadmap for a Low Carbon Europe 2050.

64 Prozent des europäischen Stahlverbrauchs.¹⁷ Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Prozentsatz vergrößern wird, da ein wachsender Anteil von neuen Fahrzeugen und Gebäuden bestehende Fahrzeuge und Gebäude ersetzt, die dann verschrottet werden. Dies führt zu einer schrittweisen Reduktion des Bedarfs an primärer Stahlproduktion.

Während beinahe 100 Prozent des Stahls in der Automobilindustrie und der Strukturbauteile in der Bauwirtschaft später recycelt werden, gibt es noch Verbesserungspotenzial bei den Recyclingraten von Stahlarmerungen in der Bauwirtschaft, bei Verpackungen und bei Geräten. Dabei muss nicht erst in der Rückgewinnungsphase angesetzt werden, sondern bereits in der Phase der primären Stahlproduktion und des Produktdesigns, damit später eine bessere Trennung und Rückgewinnung verschiedener Materialien und damit das Recycling des Stahlschrotts ermöglicht wird.

Auch wenn OECD-Volkswirtschaften größere Mengen Stahlschrott sammeln als Schwellenländer halten sie nach wie vor große Kapazitäten für die primäre Stahlproduktion vor. Deshalb werden etwa 20 Prozent des Stahlschrotts aus der EU exportiert. Dieser ersetzt in den Schwellenländern die entsprechende primäre Stahlproduktion. Wenn ein größerer Teil dieses gesammelten Stahlschrotts in Europa verwendet und nicht exportiert würde, würden die CO₂-Emissionen in Europa zwar auf kurze Sicht fallen, aber es würde gleichzeitig zu einem entsprechenden Anstieg der Emissionen außerhalb Europas kommen. Global gesehen tragen eine verbesserte Stahlrückgewinnung und ein umfassendes Recycling zur Reduktion der Emissionen der Stahlindustrie bei. Zusätzliche Maßnahmen könnten ebenfalls eine wichtige Rolle spielen, wie die Verlängerung der Lebensdauer von Stahl, die Umlenkung von Stahlschrott vor dem Recycling in andere Verwendungen oder die direkte Wiederverwendung von Metallkomponenten ohne Einschmelzung.

Während beim Recycling von Stahl ein neues Produkt von ähnlicher Qualität erzeugt wird, werden beim Recycling anderer Materialien nur Produkte geringerer Qualität (Papier, Glas) beziehungsweise sehr geringer Qualität (einige Kunststoffe, Beton) erzeugt. Einige Materialien führen auch zu volkswirtschaftlichen Kosten und zu Umweltkosten, wenn sie am Ende ihrer Lebensdauer entsorgt werden. Dies spiegelt sich in der Bewertung des gesamten Lebenszyklus der Materialien wider. Es gilt zu klären, wie die Umweltpolitik, insbesondere im Bereich der CO₂-Emissionen und der Rohstoffeffizienz, die Emissionen während der Lebensdauer abbilden soll,

um Produzenten und Konsumenten die richtigen Anreize für die Materialauswahl zu geben.

Bedeutung für die Gestaltung zukünftiger Politik

Die vielfältigen Innovations- und Modernisierungsmöglichkeiten können nur bei geeigneten politischen Rahmenbedingungen realisiert werden.

Das CO₂-Preissignal für Produzenten muss verstärkt werden

Größere Investitionen in der Zement- und Stahlindustrie sind langfristig orientiert, und müssen Rentabilität über mehr als ein Jahrzehnt versprechen. Deswegen sollten Politikmaßnahmen so früh wie möglich zu Klarheit über die langfristigen Perspektiven beitragen, insbesondere für großangelegte Investitionsprojekte und für die Entwicklung neuer klimaschonender Technologien und Materialien.

Die Umsetzung technologischer Möglichkeiten ist naturgemäß unsicher. Daher ist weder die Industrie in der Lage, sich zu konkreten Emissionszielen für eine einzige Branche zu verpflichten, noch ist der Staat in der Lage, diese langfristig vorzuschreiben. Deswegen ist es sinnvoll, Emissionen im Rahmen des EU ETS über mehrere Branchen hinweg zu erfassen und damit gleichzeitig eine glaubwürdige öffentliche Verpflichtung zu dem umfassenden Emissionsreduktionsziel einzugehen. Zugleich bietet der Emissionshandel die Flexibilität des Ausgleichs zwischen Anlagen und Sektoren, beispielsweise als Reaktion auf technologische Entwicklungen.

Die langfristige Beschränkung der CO₂-Emissionen wird nur dann glaubwürdig sein und den Investitionsrahmen verbessern, wenn die heutigen CO₂-Preise mit den langfristigen Erwartungen in Einklang stehen. Insofern hat der Rückgang des CO₂-Preises im EU ETS von 30 Euro pro Tonne im Jahr 2008 auf fünf bis zehn Euro pro Tonne in den letzten Jahren die Glaubwürdigkeit des Emissionshandels erheblich untergraben und die Anreize, die durch das Programm geschaffen worden waren, nahezu komplett beseitigt. Dies wurde allgemein anerkannt und ist der Grund für die Einführung der Marktstabilitätsreserve, die 2019 in Kraft treten wird.

Das CO₂-Preissignal muss für den Zwischen- und Endverbraucher aufrechterhalten werden

Um die Gefahr von Carbon Leakage zu vermeiden, erhalten Anlagen der Zement- und Stahlindustrie kostenlos Emissionszertifikate. Der Umfang der Zuteilung basiert derzeit auf dem historischen Produktionsniveau

¹⁷ Genet, M. (2012): EAF and/or BOF. Which route is best for Europe? Präsentiert bei 8th Steel Markets Europe Conference, Brüssel, Mai 2012.

sowie produktspezifischen Benchmarks für Emissionen.¹⁸ Die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten als Maßnahmen zur Vermeidung von Carbon Leakage hat in der Stahl- und Zementindustrie zu einem geringen CO₂-Preissignal und zu einer unsicheren Überwälzung der CO₂-Kosten an die Zwischen- und Endverbraucher geführt.

Für die Einführung klimaschonender Prozesstechnologien und Materialien ist es jedoch unerlässlich, dass sich der Kohlenstoffpreis im Produktpreis CO₂-intensiver Materialien widerspiegelt. Wenn die Konsumenten dann sowohl zwischen verschiedenen Materialien, als auch effizienteren Einsatzmöglichkeiten und Substituten auswählen können, werden sie die CO₂-Kosten in ihre Entscheidung einbeziehen. In vielen Fällen werden es nicht die Endverbraucher sein, sondern Zwischenverbraucher, zum Beispiel die Automobil- oder Bauindustrie, die solche Entscheidungen treffen. Die Zwischenverbraucher werden dies jedoch vor dem Hintergrund der Kosten tun, die am Ende die Endverbraucher tragen.

Dass sich die CO₂-Kosten vollständig im Preis CO₂-intensiver Materialien widerspiegeln, ist auch für diejenigen Produzenten wichtig, die alternative, klimaschonende Produktionsprozesse verwenden. Nur so sind sie in der Lage, zusätzliche Produktionskosten in den Preis ihrer Produkte einzuberechnen, und nur so können sie langfristig einschätzen, ob ihre neuen Produktionsprozesse kostendeckend und wirtschaftlich sein werden.

Ein effektiver CO₂-Preis entlang der Wertschöpfungskette bietet eine glaubwürdige Perspektive für den markt-basierten Einsatz innovativer Materialien und Produktionsprozesse. Dies ist eine notwendige Voraussetzung dafür, dass Unternehmen Gelder und Managementressourcen für entsprechende Forschung und Entwicklung bereitstellen. Deshalb ist es so wichtig, bei Carbon-Leakage-Schutzmaßnahmen neue Ansätze zu berücksichtigen, die dafür sorgen, dass der CO₂-Preis für Zwischen- und Endverbraucher von Bedeutung ist.

Innovative Technologien benötigen finanzielle Unterstützung

Produkt- und Prozessinnovationen unterscheiden sich stark in Hinblick auf den Umfang der notwendigen Investitionen und den Zeitrahmen, in dem diese Technologien wirtschaftlich einsetzbar sind. Erfolgreiche Produktinnovation ist nur möglich, wenn man eng mit seinen Kunden zusammenarbeitet. Hauptsächlich privatfinanzierte Innovationen sind möglich, wenn der

Zeitrahmen zwischen Entwicklung und Markteinführung kurz und die Produktdifferenzierung hoch ist. Dies zeigte sich beispielsweise bei der Verbesserung der Stahleigenschaften, die in den letzten zehn Jahren durch eine enge Zusammenarbeit zwischen den Stahlproduzenten und der Automobilindustrie erreicht wurde.

Wenn die Märkte jedoch fragmentiert, der Zeitrahmen länger, und die Risiken größer sind sowie dazu noch Technologie-Spillover eine Rolle spielen, dann ist es sinnvoll, dass die privaten Investitionen durch öffentliche Mittel ergänzt werden. Innovationen in klimaschonende Stahlprozesse, die auch CO₂-Abtrennung und -Speicherung beinhalten,¹⁹ werden wahrscheinlich nicht durch die Verbraucher angestoßen werden können, vor allem wenn die Innovation die Eigenschaften des hergestellten Stahls nicht verändert. Hinzu kommt, dass die Zeitrahmen für Demonstrationsprojekte lang und die Investitionsvolumina groß sind. Das spricht für eine größere Rolle der öffentlichen Hand, als das in der klassischen Produktinnovation der Fall ist. In der Demonstrationsphase ist eine stetige finanzielle Unterstützung der Prozessinnovation nötig, damit Ideen in die Realität umgesetzt werden können. Technologischer Fortschritt sollte dabei ein zentrales Entscheidungskriterium für die jeweilige Weiterführung der finanziellen Unterstützung sein.

Auch wenn innovative Technologien bis zur Anwendungsreife entwickelt wurden, werden Investitionen in erste kommerzielle Anlagen immer noch mit hohen Technologierisiken behaftet sein. Unternehmen werden beispielsweise nur sehr zögerlich das Risiko eingehen, einen Hochofen mit etablierter Technologie durch einen neuen Prozess zu ersetzen. Im Falle der Eisen- und Stahlindustrie liegt das beispielsweise an der zentralen Rolle des Hochofens in der integrierten Stahlerzeugung. Somit müssten mit einer neuen Technologie entweder sehr große Kosteneinsparungen, strategischen Vorteile oder klare regulatorische Anforderungen verbunden sein. Auch Vereinbarungen zur Risikoteilung könnten hilfreich sein. An einer solchen Vereinbarung sollte die öffentliche Hand sowohl im Hinblick auf die Risiken, als auch im Hinblick auf die Vorteile beteiligt sein. Zum Beispiel könnten zukünftige finanzielle Vereinbarungen eigenkapitalähnliche Instrumente beinhalten, bei denen sowohl die potenziellen Verluste als auch die Gewinne aus dem Betrieb der ersten Anlagen im kommerziellen Maßstab geteilt werden.

¹⁸ Für weitere Details vgl. in der gleichen Ausgabe Neuhoff, K., Acworth, W. et al. (2015), a. a. O.

¹⁹ Bassi, S., Boyd, R. et al. (2015): Bridging the Gap: improving the economic and policy framework for carbon capture and storage in the European Union. Grantham Institute for Climate Change and the Environment and the Centre for Climate Change Economics and Policy Brief, Juni 2015.

Um neue Wege in der Baupraxis und im Materialeinsatz zu beschreiten, sind hohe Erstinvestitionen nötig. Diese dienen der Demonstration, dass diese Neuerungen rentabel sind und dass die neuen Materialien eine lange Lebensdauer haben. Es muss eingehender untersucht werden, in welchem Umfang der Erstinvestor aus den zukünftigen Erträgen des neuen Produktes Nutzen ziehen kann. Falls sich herausstellt, dass die Anreize nicht ausreichen, muss die vorhandene staatliche Förderung entsprechend strukturiert und es müssen passende Förderungsmaßnahmen eingeführt werden.

Anpassung der institutionellen Rahmenbedingungen und Einführung zusätzlicher regulatorischer Instrumente zur Begünstigung von Sektorstrategien

Bisher beruhte ein großer Teil der Emissionseinsparungen in der Zementindustrie auf veränderten Bestimmungen zur Abfallmitverbrennung, neuen Genehmigungen, welche die Mitverbrennung von Biomasserückständen erlauben, sowie Veränderungen bei Beton- und Baunormen. Investitionen in innovative Verfahren und Produkte erfolgen nur, wenn das Vertrauen besteht, dass regulatorische Anpassungen rechtzeitig durchgeführt werden. Deshalb ist eine möglichst frühe Analyse notwendig, um abschätzen zu können, ob und welche konkreten Anpassungen nötig sind, damit weitere neue Technologien erforscht und verbreitet werden.

Regulierungen können dabei helfen, ökonomisch rentable Technologien zu verbreiten, die bisher beispielsweise aufgrund bestimmter Gewohnheiten oder anders gelagerter Prioritäten der Hersteller nicht angewendet werden. Dies war zum Beispiel eine Motivation für die Einführung von Standards zur energetischen Effizienz von Neubauten. Bisherige Regulierungen zum Energieverbrauch von Gebäuden könnten ergänzt werden durch Labels oder Standards zur Beschränkung des CO₂-Gehalts der Baumaterialien. Um ein weiteres Beispiel anzuführen: Da die Bauindustrie eher zurückhaltend neue klimaschonende Zemente einsetzt, könnte die öffentliche Hand dies bei der Auftragsvergabe ausgleichen und somit der Industrie allmählich Erfahrungswerte vermitteln und Nachfrage nach neuen Zementarten schaffen.

Normen und Standards könnten sogar noch ambitionierter sein und zunächst unrentable Weiterentwicklungen vorschreiben, um Innovationen und Kostenreduzierungen zu fördern. Dies war zum Beispiel bei den Vorschriften zur Kraftstoffeffizienz in der Automobilindustrie der Fall. Für CO₂-intensive Materialien könnte dies bedeuten, dass eine gewisse CO₂-Effizienz eines primären Produktionsprozesses (unabhängig von der Herkunft der Materialien) vorgeschrieben wird. Da-

durch könnte Befürchtungen, dass in der Branche nicht genügend Investitionen in Maßnahmen zur Effizienzverbesserung getätigt werden, entgegengewirkt werden.

Eine Vision für klimafreundliche Materialien

Die europäische Herstellung von Materialien muss eine hohe Energieeffizienz besitzen und innovativ sein für eine Zukunft, die durch anspruchsvolle klima- und energiepolitische Ziele geprägt ist. Aus diesem Grund ist es wichtig, eine Perspektive zu entwickeln, die kompatibel mit politischen Zielvorgaben ist, um die Attraktivität für Investitionen und talentierte Nachwuchskräfte zu wahren, die Effizienz zu steigern, und international in der Gruppe der Technologievorreiter zu bleiben.

Aufbauend auf den klima- und energiepolitischen Zielen der EU für 2030 und 2050 und den Entwicklungspfaden bis 2050, die von den Dachverbänden der Hersteller unterschiedlicher Materialien entwickelt wurden, könnte solch eine Perspektive entwickelt werden. Dabei sollten private und öffentliche Akteure zusammenarbeiten. Die Materialherstellung nimmt beim Umstieg auf eine klimaschonende Wirtschaft eine Schlüsselrolle ein. Wesentliche Fortschritte können nur erzielt werden, wenn die Industrie dynamisch ist, junge Talente anzieht und einen geringeren Materialverbrauch bei höherer Wertschöpfung realisiert. So kann die Herstellung von Materialien nicht nur einen Beitrag zum Erhalt der Umwelt, sondern auch zum Erhalt der wirtschaftlichen Grundlagen leisten.

Während es einerseits bemerkenswerte Chancen gibt, den Umstieg auf eine klimaschonende Zement- und

Tabelle

Ein Politikpaket für kohlenstoffarme Materialien

| | | CO ₂ -Preissignal für Produzenten | CO ₂ -Preissignal für Konsumenten | Innovationsförderung | Andere Regulierung |
|----------------------|-------------------------------|--|--|----------------------|--------------------|
| Energieeffizienz | Beste verfügbare Technologien | X | | | |
| | Betriebsweisen | X | | | |
| Kohlenstoffeffizienz | Brennstoffwechsel | X | | | |
| | Innovative Prozesse | X | X | X | |
| Materialeffizienz | Baupraxis | | X | X | X |
| | Innovative Materialien | | X | X | X |
| | Recycling | | | | X |

Quelle: Darstellung der Autoren.

Stahlindustrie zu schaffen, gibt es andererseits auch große Herausforderungen und Risiken. Daher wird es sowohl effektiven politischen Handelns als auch zukunftsorientierter, innovativer Unternehmen bedürfen, um diese Strategiepläne in messbare Investitionen und Innovationen umzusetzen.

Märkte sind ein gutes Instrument, um neue Möglichkeiten effizient zu erschließen. Sie können insbesondere dann zu einem effizienten Ergebnis führen, wenn CO₂-Preise die Klimaauswirkungen adäquat abbilden. Die Untersuchung der Stahl- und Zementbranche zeigt, wie wichtig ein effektives CO₂-Preissignal ist, damit sowohl die Produzenten als auch die Zwischen- und Endverbraucher das jeweilige Potenzial für Modernisierung und Innovation erschließen können (Tabelle).

Die Herausforderungen in der Stahl- und der Zementindustrie in der EU im Allgemeinen und insbesondere in Bezug auf den Klimawandel sind jedoch auch struktureller und langfristiger Art. Für Innovationen und Strukturveränderungen sind strategische Investitionen von herausragender Bedeutung. Die Kapitalintensität der Materialherstellung und die relativ homogene Natur der Produkte erschweren es der Industrie, neue Produktionsprozesse selbst voranzutreiben. Damit sich die Industrie an die Anforderungen der Zukunft anpas-

sen und gleichzeitig unverzichtbare Materialien produzieren, für Beschäftigung sorgen und Werte erschaffen kann, sind strategische Investitionen in Innovation insbesondere durch die öffentliche Hand unerlässlich.

Zugleich geht es auf der Seite der Verbraucher um Kaufentscheidungen und um Material- und Ressourceneffizienz. Gewohnheiten, Routinen und Kurzsichtigkeit führen zu struktureller Ineffizienz und können die Wirkung marktorientierter Instrumente schwächen. Daher wird engagiertes politisches Handeln benötigt, um den regulatorischen Rahmen anzupassen und eine bessere Koordination zu ermöglichen. Dadurch kann ein Umfeld entstehen, in dem Innovationen möglich sind.

Eine europäische Klimapolitik, die eine verlässliche langfristige Strategie beinhaltet und in einen breiteren politischen Rahmen eingebettet ist, kann somit zum Dreh- und Angelpunkt einer Modernisierung der Herstellung CO₂-intensiver Materialien in Europa werden. Die Europäische Union ist groß genug, um Demonstrationsprojekte durchzuführen und zu finanzieren. Klimapolitik hat ein klar definiertes Ziel, an dem sich die Unternehmen sinnvoll orientieren können. Im Kern basiert sie auf einem gemeinsamen politischen Ziel, das die Zusammenarbeit innerhalb der Europäischen Union und darüber hinaus ermöglicht.

Karsten Neuhoff ist Leiter der Abteilung Klimapolitik am DIW Berlin | kneuhoff@diw.de

Andrzej Ancygier ist Dahrendorf Fellow an der Hertie School of Governance | a.ancygier@gmail.com

Jean-Pierre Ponsard ist Professor of Economics an der École Polytechnique und Senior Researcher am Centre National de la Recherche Scientifique | jean-pierre.ponsard@polytechnique.edu

Philippe Quirion ist Senior Researcher am Centre National de la Recherche Scientifique | quirion@centre-cired.fr

Nagore Sabio ist Research Associate am University College London | n.sabio@ucl.ac.uk

Oliver Sartor ist Research Fellow am Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI), Paris | oliver.sartor@iddri.org

Misato Sato ist Research Officer am Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment | M.Sato1@lse.ac.uk

Anne Schopp war wissenschaftliche Mitarbeiterin am DIW Berlin | aschopp@diw.de

MODERNIZATION AND INNOVATION IN THE MATERIALS SECTOR: LESSONS FROM STEEL AND CEMENT

Abstract: Since 2007, the European cement and steel sectors have been characterized by substantial surplus production capacity. Hence re-investment in primary production of many materials remains limited and endangers the longer-term economic viability of many plants. Opportunities for innovation and modernization could overcome these challenges. They are linked to new demands for more efficient and lower-carbon production processes, higher-value materials with less weight and carbon intensity, and new applications in construction, transport and the energy sector. Only a limited share of these opportunities has been captured so far, which can be attributed to the policies implemented to date.

For the future realization of innovation and modernization opportunities, a clear longer-term perspective is required in

three policy elements. First, an effective carbon price emerging from the European Union Emissions Trading System (EU ETS) that is relevant both for producers, to facilitate switching to lower-carbon production, and also for intermediate and final consumers to create a viable long-term business case for large-scale investments in lower carbon processes, materials, and efficient use. Second, public funding for the innovation and demonstration of breakthrough technologies. Third, institutional arrangements including aspects like norms and standards as well as provisions for training of craftsmen need to be adjusted to enable the use of new production processes and materials.

JEL: L20, L61, Q50

Keywords: Energy Intensive Industries, Materials, Steel, Cement, Mitigation, EU ETS



DIW Berlin – Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung e.V.
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin
T +49 30 897 89 -0
F +49 30 897 89 -200
82. Jahrgang

Herausgeber

Prof. Dr. Pio Baake
Prof. Dr. Tomaso Duso
Dr. Ferdinand Fichtner
Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.
Prof. Dr. Peter Haan
Prof. Dr. Claudia Kemfert
Dr. Kati Krähnert
Prof. Dr. Lukas Menkhoff
Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.
Prof. Dr. Jürgen Schupp
Prof. Dr. C. Katharina Spieß
Prof. Dr. Gert G. Wagner

Chefredaktion

Sylvie Ahrens-Urbaneck
Dr. Kurt Geppert

Redaktion

Renate Bogdanovic
Sebastian Kollmann
Marie Kristin Marten
Dr. Wolf-Peter Schill
Dr. Vanessa von Schlippenbach

Lektorat

Philipp Richter
Dr. Aleksandar Zaklan

Pressestelle

Renate Bogdanovic
Tel. +49-30-89789-249
presse@diw.de

Vertrieb

DIW Berlin Leserservice
Postfach 74
77649 Offenburg
leserservice@diw.de
Tel. (01806) 14 00 50 25
20 Cent pro Anruf
ISSN 0012-1304

Gestaltung

Edenspiekermann

Satz

eScriptum GmbH & Co KG, Berlin

Druck

USE gGmbH, Berlin

Nachdruck und sonstige Verbreitung –
auch auszugsweise – nur mit Quellen-
angabe und unter Zusendung eines
Belegexemplars an die Serviceabteilung
Kommunikation des DIW Berlin
(kundenservice@diw.de) zulässig.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier