

Effizienzpotenziale in rohstoffintensiven Produktionsprozessen

Innovative Technologien für mehr Ressourceneffizienz

Um die Ressourceneffizienz nachhaltig zu steigern, werden zusätzliche innovative Lösungen benötigt. Wie groß könnte der Beitrag innovativer Technologien zu mehr Ressourceneffizienz sein?

Von Katrin Ostertag

Rohstoffe effizienter zu nutzen, trägt dazu bei, den Industriestandort Deutschland zu sichern und die deutsche Industrie im globalen Wettbewerb zu stärken. Neben dieser wirtschaftlichen Bedeutung spielen beim Einsparen endlicher Rohstoffe auch ökologische und intergenerationelle Verteilungseffekte eine Rolle. In der Nachhaltigkeitsstrategie der deutschen Bundesregierung wurde vor diesem Hintergrund das Ziel verankert, die Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt deshalb im Rahmen der Hightech-Strategie die Entwicklung innovativer Effizienztechnologien.

In einer Studie zur nachhaltigen rohstoffnahen Produktion wurden die Produktionsbereiche zwischen der Rohstoffgewinnung und der Weiterverarbeitung der Grundstoffe oder Halbzeuge als wichtiger Ansatzpunkt zur Steigerung der Ressourceneffizienz identifiziert (Hirth et al. 2007). Denn dieser Abschnitt der Wertschöpfungskette ist mit großen Massenströmen und damit potenziell großen Umweltbeeinträchtigungen verbunden. Gleichzeitig bildet er den Ausgangspunkt für ein weitverzweigtes nachgelagertes Wertschöpfungsnetz und lässt deshalb ökonomisch wie ökologisch eine große Hebelwirkung erwarten.

Im Fokus der Fördermaßnahme r^2 „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“ stehen Innovationen aus diesen stoffwandelnden Industrien. Mit rund 37 Millionen Euro werden von 2009 bis 2013 Forschungsvorhaben in folgenden vier Clustern vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert: Metallherzeugung, Metallrecycling, katalytische Prozesse in der chemischen Industrie und Beschichtungsprozesse sowie Keramikindustrie und innovative Baustoffe. Im r^2 -Integrations- und Transferprojekt wurden die Ressourceneffizienzpotenziale untersucht. [1]

Ökologische Potenziale

Für die ökologische Perspektive auf die Ressourceneffizienzpotenziale der in r^2 entwickelten Technologien wird ein Set von Indikatoren betrachtet. Sie basieren auf einer Erhebung detaillierter Stoffstromdaten bei den r^2 -Vorhaben, die die Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) am Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart und das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion am KIT durchgeführt haben (Albrecht et al. 2013). In einer Vorher-Nachher-Betrachtung quantifizieren sie die direkten Änderungen in den physischen Stoffströmen, die auf die Forschungsergebnisse zurückgehen. Für die Ableitung der Indikatoren werden vor allem die Methoden der Stoff- und Energiestromanalysen sowie die Aspekte der Ökobilanzierung gemäß DIN ISO 14040 und 14044 angewendet. Dabei werden die Vorketten (cradle to gate) sowie der Produktionsprozess selbst (gate to gate) in die Betrachtung einbezogen. Operative Unterstützung leistet die Datenbank und Software GaBi.

Als Indikatoren werden die Einsparpotenziale beim kumulierten Materialaufwand und Primärenergiebedarf sowie bei den Treibhausgasemissionen ermittelt. Es werden zwei Aggregationsebenen betrachtet: Die Verbundebene entspricht der Umsetzung einer Technologie in einer großtechnischen Anlage mit einer für die jeweilige Branche typischen Kapazität. Das deutschlandweite Potenzial bildet dagegen eine theoretische Obergrenze ab. Es unterstellt eine hypothetische Verbreitung einer Technologie in der insgesamt in Deutschland vorhandenen jeweils relevanten Produktionskapazität. In Abbildung 1a werden die Ergebnisse für die Fördermaßnahme als Ganzes auf Verbundebene ausgewiesen, Abbildung 1b zeigt das Gleiche bei deutschlandweiter Umsetzung. Die Balken verdeutlichen die Anteile der vier thematischen Cluster. Schon bei Umsetzung nur einer großtechnischen Anlage pro Verbund sinken der kumulierte Materialaufwand und der Primärenergiebedarf um fünf Prozent, die Treibhausgasemissionen um sechs Prozent gegenüber dem aktuellen Stand der Technik. Beim kumulierten Materialaufwand werden die Potenziale vor allem durch die Innovationen im Metallrecycling getrieben, weil hier bisher ungenutzte oder nur teilweise genutzte (Rest-) Stoffströme in Zukunft verschiedene Rohstoffe ersetzen könnten. Bei den beiden anderen ökologischen Indikatoren fällt das Cluster „Chemische Industrie und Beschichtungsprozesse“ am meisten ins Gewicht. Dies liegt auch darin begründet, dass in dieser Branche die typischen großtechnischen Anlagen eine relativ hohe Kapazität haben. Im Fall der Umsetzung auf

deutschlandweiter Ebene betragen die Einsparpotenziale von r^2 rund ein Viertel beim kumulierten Materialaufwand, ein Drittel bei den Treibhausgasemissionen und rund 16 Prozent beim Primärenergiebedarf. Hier werden alle Indikatoren vom Cluster „Keramikindustrie & Innovative Baustoffe“ dominiert. Das liegt neben vielversprechenden Forschungsergebnissen auch daran, dass die Produktionskapazitäten für Baustoffe und damit die Faktoren für die Skalierung auf die deutschlandweite Ebene sehr hoch sind.

Für die politische Debatte um Nachhaltigkeit ist zusätzlich der Indikator der Rohstoffproduktivität von besonderer Relevanz. Die Auswirkungen einer möglichen Umsetzung der r^2 -Ergebnisse darauf wurden von Marscheider-Weidemann et al. (2013) untersucht. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (in Euro, preisbereinigt) je eingesetzter Tonne an abiotischem Primärmaterial erwirtschaftet wird

(Destatis 2012). Soweit der nötige Materialeinsatz durch Importe gedeckt wird, gehen diese mit ihrem Gewicht in den Indikator ein. Die Steigerung der Importe von immer höherwertigen Waren ist der Grund, dass ergänzend ein erweiterter Rohstoffindikator ausgewiesen wird, bei dem die importierten Waren mit sogenannten Rohstoffäquivalenten umgerechnet werden, welche die Gewichte der für ihre Produktion benötigten Rohstoffe im Ausland berücksichtigen (Buyny et al. 2009).

Für die Berechnung der potenziellen Effekte von r^2 auf die Rohstoffproduktivität wurden die Datentabellen vom Statistischen Bundesamt genutzt, in denen dann, ausgehend von der Bewertung der Einsparpotenziale der r^2 -Vorhaben beim kumulierten Materialaufwand, Änderungen erfolgten. Auf Verbundebene schlugen sich die Einsparpotenziale in dem Indikator naturgemäß kaum nieder. Betrachtet man jedoch das deutschlandweite Potenzial zur Materialeinsparung, würde sich die

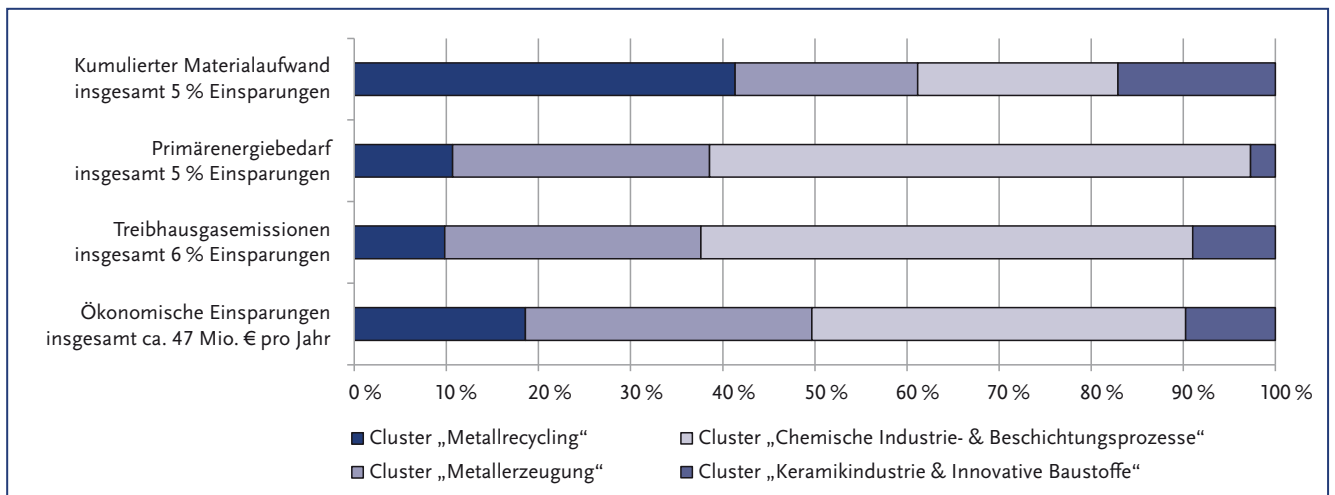


Abbildung 1a: Einsparpotenziale der BMBF-Fördermaßnahme r^2 bei Umsetzung auf Verbundebene

(Quelle: Albrecht et al. 2013)

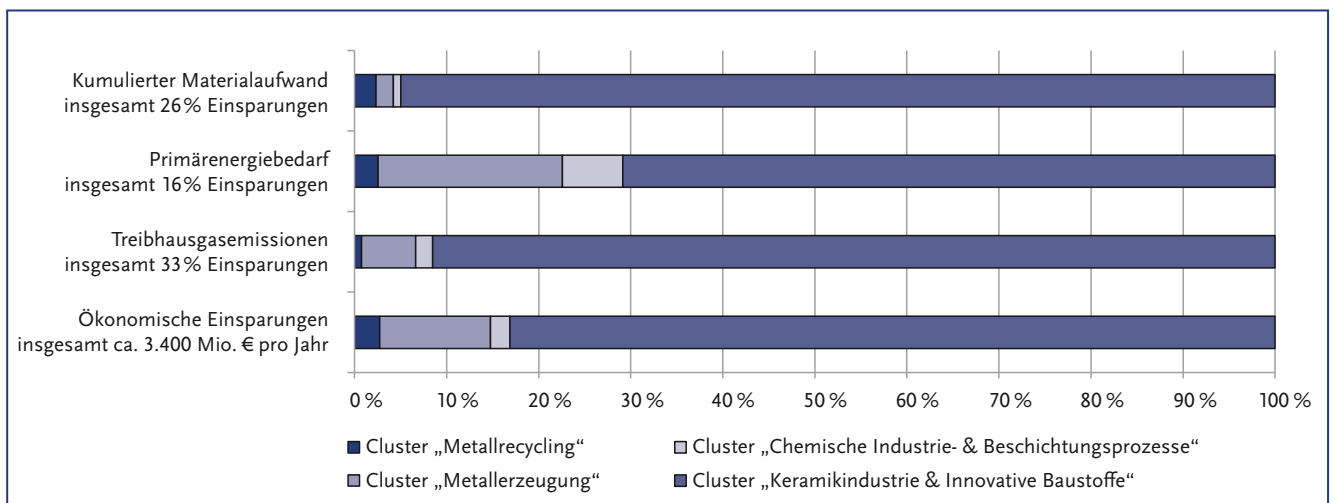


Abbildung 1b: Einsparpotenziale der BMBF-Fördermaßnahme r^2 bei Umsetzung auf deutschlandweiter Ebene

(Quelle: Albrecht et al. 2013)

Rohstoffproduktivität um etwa fünf Prozentpunkte erhöhen (Abbildung 2). Gleiches gilt für den erweiterten Rohstoffindikator. Die Haupteinsparungen kommen aus dem Cluster „Keramikindustrie & Innovative Baustoffe“. Bei der Betrachtung des erweiterten Indikators auf Basis von Rohstoffäquivalenten fallen auch die Cluster „Metallrecycling“ und „Metallerzeugung“ deutlich ins Gewicht.

Ökonomische Potenziale

Die ökonomische Bewertung der in r^2 entwickelten Technologien geht wie die ökologische Bewertung von den physischen Stoffstromdaten für Änderungen der In- und Outputs aus (Albrecht et al. 2012; Albrecht et al. 2013). Anhand von Preisangaben der Forschungsverbünde und eigenen Preisschätzungen werden diese in monetäre Zahlungsströme übersetzt und fließen in eine Rentabilitätsrechnung ein. Die notwendigen Investitionsvolumina und Personalbedarfe wurden bei den Forschungsverbänden erhoben und im Fall von Datenlücken anhand vergleichbarer Anlagen unter Berücksichtigung von Größendegressionskoeffizienten geschätzt. Bei der Berechnung der kapitalabhängigen Kosten werden notwendige Instandhaltungen, Steuern und Versicherungskosten berücksichtigt.

Die Ergebnisse stellen das direkte ökonomische Einsparpotenzial dar. Wie bei den ökologischen Potenzialen wird es auf Verbundebene ausgewiesen. Bei der Hochrechnung auf das theoretische deutschlandweite Potenzial werden Größendegressions- und Lerneffekte berücksichtigt, die sich im Zuge der Diffusion einstellen.

Wie Abbildung 1a zeigt, belaufen sich die direkten ökonomischen Einsparpotenziale auf Verbundebene für die Fördermaßnahme als Ganzes auf knapp 50 Millionen Euro pro Jahr. Die Realisierung einer großtechnischen Anlage lässt sich über fast alle Verbünde rentabel darstellen. Der größte Beitrag zum direkten ökonomischen Einsparpotenzial auf Verbundebene kommt aus dem Cluster „Chemische Industrie und Beschichtungsprozesse“. Bei Umsetzung auf deutschlandweiter Ebene würden sich die ökonomischen Einsparpotenziale theoretisch auf 3.400 Millionen Euro pro Jahr belaufen. Wie bei den ökologischen Potenzialen dominiert auf dieser Aggregationsebene das Cluster „Keramikindustrie & Innovative Baustoffe“. Das große ausgewiesene ökonomische Einsparpotenzial muss als theoretische Obergrenze verstanden werden. Sie zeigt, dass auch dann ein positives Ergebnis erzielt werden könnte, wenn weitere bisher möglicher Weise noch nicht berücksichtigte Zusatzkosten in Kauf genommen werden müssten.

Aus den Änderungen in Kosten und Erträgen sowie aus den zusätzlichen Investitionen und Personalbedarfen resultieren über die sektoralen Vorleistungsverflechtungen und die volkswirtschaftlichen Kreislauffekte Veränderungen in der Wertschöpfung und damit auch in der Beschäftigung und in der Wirtschaftsstruktur, die für die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Fördermaßnahme von Bedeutung sind. Diese wurden im Rahmen der r^2 -Begleitforschung untersucht (Sartorius/Walz 2013). Der Fokus der Analyse liegt auf den indirekten Nachfrage- und Beschäftigungseffekten des verstärkten Einsatzes der r^2 -Technologien, die sich aus den intersektoralen Vorleistungsverflechtungen ergeben. Dafür wird das ISIS-Mo-

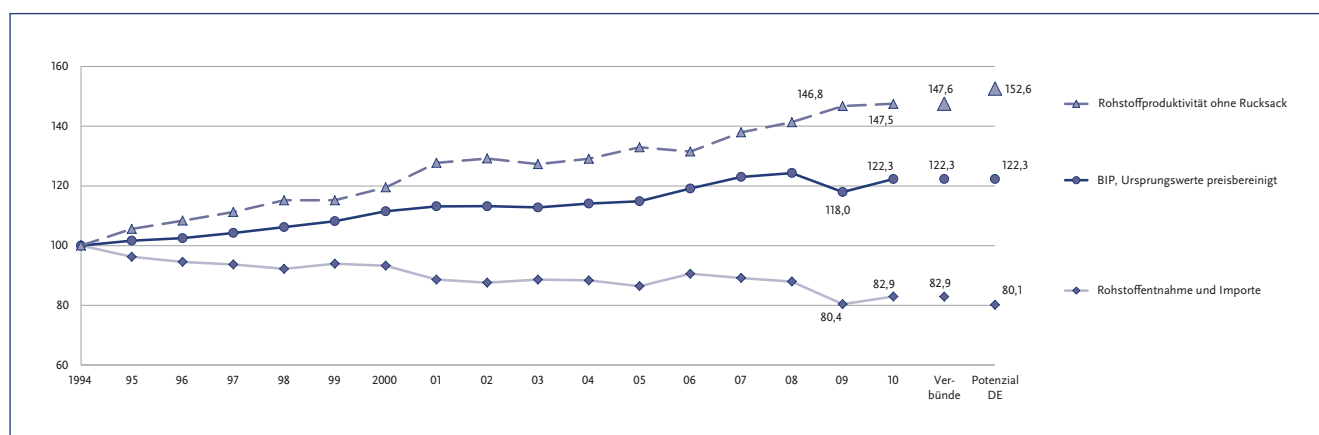


Abbildung 2: Erhöhung der Rohstoffproduktivität durch die r^2 -Verbünde bei Umsetzung auf deutschlandweiter Ebene (Quelle: Marscheider-Weidemann et al. 2013)

	Metall-Recycling	Metallerzeugung	Chemische Industrie / Beschichtungsprozesse	Keramikindustrie / Innovative Baustoffe	Summe
Bruttowertschöpfung, Veränderung (Mio. €)	103,0	98,3	-10,9	539,1	730
Erwerbstätige, Veränderung netto	2.123	3.032	494	23.513	29.163

Tabelle 1: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der deutschlandweiten Umsetzung der in r^2 (weiter-)entwickelten Verfahren. (Quelle: Sartorius/Walz 2013)



dell eingesetzt, dessen Kern aus einem Input-Output Modell besteht und das die Auswirkungen von Veränderungen in der Endnachfrage auf die gesamte Wirtschaft simuliert. An die Verflechtungsmatrix angekoppelt sind die Auswirkungen auf die Wertschöpfung, die Importe und die Summe der Produktionswirkungen.

Zur Berechnung der ökonomischen Impulse wird auf die Analyse der direkten ökonomischen Potenziale bei Umsetzung auf deutschlandweiter Ebene zurückgegriffen. Im Einzelnen werden zusätzlich aufgewendete oder eingesparte Rohstoffinputs als Nachfrage den jeweiligen Liefersektoren beziehungsweise abgerechnet. Gleiches gilt für die Investitionen, die in erster Linie dem Maschinenbau und den Herstellern von Mess-, Steuer- und Regeltechnik zugerechnet werden. Kommt es seitens der Projektverbände netto zu Einsparungen, das heißt deutet sich die Rentabilität der Verfahren an, wird davon ausgegangen, dass diese als zusätzliche Einkommen oder als Investitionen wieder allgemein nachfragewirksam werden.

Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der potenziellen deutschlandweiten Umsetzung der in r^2 entwickelten Lösungen sind überwiegend positiver Natur (siehe Tabelle 1). Die (Brutto-) Wertschöpfung wird insgesamt und in den meisten Clustern durch die Effizienzsteigerung positiv beeinflusst, was darin begründet sein dürfte, dass durch die Steigerung der Ressourceneffizienz Nachfrage in Wirtschaftszweigen mit unterdurchschnittlicher Wertschöpfung verloren geht, wogegen die allgemeine Nachfrage sich in allen Wirtschaftszweigen mit durchschnittlicher Wertschöpfung gleichermaßen entfaltet. Nur das Cluster „Chemische Industrie & Beschichtungsprozesse“ weist eine leicht negative Wertschöpfung auf, was der vorangegangenen Argumentation entsprechend auf die dort vorherrschende höhere Wertschöpfung zurückzuführen sein kann. Die Beschäftigung nimmt in allen Clustern zu. Insgesamt entstehen mehr als 29.000 zusätzliche Arbeitsplätze, wobei die Anzahl der notwendigen Beschäftigungswechsel aufgrund Zu- und Abnahmen in verschiedenen Sektoren mit über 71.000 Wechseln mehr als doppelt so hoch ist. Das bedeutet, dass die entsprechende Umstrukturierung gegebenenfalls durch Weiterbildungsmaßnahmen der betroffenen Beschäftigten erleichtert werden muss.

Fazit und Ausblick

Die Ressourceneffizienzpotenziale der in r^2 entwickelten Lösungen sind insgesamt ökologisch und ökonomisch vielversprechend. Die Vernetzung der Forschungsarbeiten hat außerdem weitere Ansatzpunkte für die Forschung aufgezeigt. Möglicherweise ergeben sich daraus Impulse zur Steigerung der Innovationsdynamik, die in der Vergangenheit in diesem Bereich teilweise etwas verhalten erscheint (Ostertag et al. 2010). Da sich die Technologien noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, wird ihre Weiterentwicklung und Umsetzung noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Erste Schritte in Richtung Demonstrationsanlagen sind aber bereits gemacht

und auch neue Wertschöpfungsarchitekturen könnten die Umsetzung begünstigen (Bollhöfer et al. 2013). Vor allem die Bauindustrie, auf die ein großer Teil der ausgewiesenen Potenziale entfällt, hat allerdings sehr umfangreiche Prüf- und Zulassungsverfahren, sodass das dargestellte Potenzial erst langfristig erschlossen werden kann. Dabei werden auch Hindernisse zu bewältigen sein und möglicherweise bisher nicht berücksichtigte Zusatzkosten oder Förderbedarfe auftreten. Das ausgewiesene ökonomische Einsparpotenzial zeigt jedoch, dass die Umsetzung der r^2 -Ergebnisse finanzielle Handlungsspielräume hierfür eröffnet.

Anmerkung

[1] Das diesem Beitrag zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R026 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

Die Ergebnisse der r^2 -Forschungsverbände und des r^2 -Integrations- und Transferprojekts sind im Internet (www.r-zwei-innovation.de) und ab Herbst 2013 auch in Buchform (Woidasky et al. 2013) zugänglich.

Literatur

- Albrecht, S. / Bollhöfer, E. / Brandstetter, P. / Fröhling, M. / Mattes, K. / Ostertag, K. / Peuckert, J. / Seitz, R. / Trippe, F. / Woidasky, J. (2012): Ressourceneffizienzpotenziale von Innovationen in rohstoffnahen Produktionsprozessen. In: *Chemie Ingenieur Technik* 84 / 10, S. 1651–1665.
- Albrecht, S. / Brandstetter, P. / Fröhling, M. / Trippe, F. (2013): Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale in der Fördermaßnahme r^2 . Stuttgart / Karlsruhe, LBP / KIT.
- Bollhöfer, E. / Mattes, K. / Miller, M. (2013): Ressourceneinsparpotenziale durch den Einsatz von Dienstleistungsmodellen in rohstoffnahen Produktionssystemen. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.
- Buyny, S. / Klink, S. / Lauber, U. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung – Weiterentwicklung des direkten Materialinputindikators. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- Destatis (Hrsg.) (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Indikatorenbericht 2012. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- Hirth, T. / Woidasky, J. / Eyerer, P. (Hrsg.) (2007): Nachhaltige rohstoffnahe Produktion. Stuttgart, Fraunhofer IRB-Verlag.
- Marscheider-Weidemann, F. / Niederste-Hollenberg, J. / Paitz, P. (2013): Potenzieller Beitrag der r^2 -Fördermaßnahme zur Rohstoffproduktivität. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.
- Ostertag, K. / Sartorius, C. / Tercero Espinoza, L. (2010): Innovationsdynamik in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 82/11, S. 1893–1901.
- Sartorius, C. / Walz, R. (2013): Gesamtwirtschaftliche Wirkung des potenziellen Produktivitätsanstiegs der r^2 -Fördermaßnahme. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.
- Woidasky, J. / Ostertag, K. / Stier, C. (Hrsg.) (2013): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (im Erscheinen).

AUTORIN + KONTAKT

Dr. Katrin Ostertag ist Volkswirtin und leitet das Geschäftsfeld „Nachhaltigkeitsinnovationen und Politik“ im Competence Center „Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme“ am Fraunhofer ISI.



Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe. Tel.: +49 721 6809 116, E-Mail: katrin.ostertag@isi.fraunhofer.de

Copyright © 2013, IÖW und oekom Verlag. Die Nutzung des Artikels ist Abonnenten von Ökologisches Wirtschaften vorbehalten. Nachdruck und Vervielfältigung des Artikels einschließlich Speicherung und Nutzung auf optischen und elektronischen Datenträgern nur mit Zustimmung der Redaktion von Ökologisches Wirtschaften (<http://www.oekologisches-wirtschaften.de>).