

Ressourceneffiziente Fertigung

Erfahrungen und Handlungsempfehlungen zur Verbesserung von Rohstoff- und Energie-Effizienz in der verarbeitenden Industrie

Von Udo Sievers, Dr. Uwe König und Berhold Sessler

Seit einigen Jahren zeichnet sich zunehmend eine Verknappung wichtiger Rohstoffe ab, wie sie unter anderem für die Solartechnik mit den Seltenen Erden auch in den breiten Medien Niederschlag gefunden hat. Die Europäische Union verstärkt aus diesem Grund die seit längerem laufenden Bemühungen zur Einsparung von Rohstoffe beziehungsweise zur Optimierung des Rohstoffeinsatzes. Im Rahmen von abgeschlossenen Projekten hat es sich gezeigt, dass je nach Industriebereich auch mit einfachen Maßnahmen bis zu 10 % der Materialkosten eingespart werden können, als den Gewinn eines Unternehmens steigern. Dafür sind verschiedene Fördermaßnahmen verfügbar, die eine umfassende Betrachtung der Produktionsprozesse in den Mittelpunkt stellen und damit den Lebenszyklus von Produkten auf Einsparmöglichkeiten hin durchleuchten.

1 Einleitung

Den Rohstoffverbrauch nachhaltig zu gestalten, wird nun seit über 30 Jahren von politischen Programmen angestrebt. Dabei zielten Umweltpolitik und Umweltmaßnahmen zunächst primär darauf ab, die Bestimmungen für Emissionen, Energieeffizienz, Abfallreduktion und Abwasser einzuhalten. Die Industrieunternehmen sind dieser Herausforderung sehr erfolgreich nachgekommen: Emissionsbeschränkungen werden heute sehr gut eingehalten und der Rohstoffverbrauch pro Kopf der Bevölkerung ist praktisch seit etwa 1980 gleich bleibend, obwohl die Wirtschaftsleistung in derselben Zeit um 50 % zugenommen hat [1].

In der Vergangenheit haben Industrie und Politik hauptsächlich mit so genannten *End-of-pipe*-Maßnahmen agiert wie zum Beispiel Abwasser- und Abluftreinigung oder Recycling sowie kontinuierliche Verbesserungen in der Energienutzung. Bei der Optimierung des Materialeinsatzes stand bisher im Vordergrund, die Funktionalität eines Produktes zu verbessern und weniger, den Ressourcenverbrauch zu verringern. Dieser Ansatz reicht heute nicht mehr aus, um eine nachhaltige Zukunft für die fertige Industrie sicherzustellen.

In den letzten zehn Jahren wurde deshalb verstärkt Augenmerk auf die Problematik der Erschöpfung der abiotischen Ressourcen und die steigenden Rohstoffkosten ge-

richtet. In der fertigen Industrie stellen die Materialkosten mit 35 % bis 40 % der Gesamtkosten den mit Abstand größten Kostenblock dar, weit vor den Personalkosten (mit ca. 20 %) und den Energiekosten in Höhe von 10 % bis 15 %. Material- und Energieverbrauch sind allerdings eng miteinander verknüpft. In der Praxis kann dies daher als ein einheitlicher Kostenblock gesehen werden, der nahezu die Hälfte der Produktionskosten umfasst.

Das heißt, Material und Energie sind insbesondere im Hinblick auf die steigenden Rohstoffpreise bei weitem die kritischsten Faktoren für einen Fertigungsbetrieb. Seine Wettbewerbsfähigkeit im globalen Kontext wird in Zukunft davon bestimmt sein, wie effizient ein Unternehmen den Rohstoff- und Energieeinsatz steuern kann.

In dem Projekt REMake, einer europäischen Initiative aus öffentlichen Institutionen und Wirtschafts- und Wissenschaftsorganisationen, wurden von 2009 bis 2012 Fördermaßnahmen und praktische Umsetzungsmöglichkeiten entwickelt und erprobt, um Innovationen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in der fertigen Industrie zu unterstützen. REMake Experten haben in mehr als 200 Fertigungsunternehmen in Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Italien und Spanien geholfen, ihr Einsparpotential auf einfache, leicht handhabbare Weise zu bewerten und zu erkennen, wie Rohstoffeffizienz und Lebenszyklus-

ansätze ihre Wertschöpfung verbessern können.

Diese Handlungsempfehlungen fassen die Ergebnisse und Erfahrungen der REMake Initiative zusammen und machen eine Reihe von Vorschlägen, wie Eco-Design, Prozesseffizienz und Optimierung entlang der Wertschöpfungskette in der Fertigungsindustrie schneller realisiert werden können. In diesem Sinne gehen die Autoren davon aus, dass die geleistete Arbeit weitere politische und industrielle Maßnahmen anregen wird, um Ressourceneffizienz und Wettbewerbsfähigkeit in den mehr als 2.000.000 kleinen und mittleren Fertigungsunternehmen in Europa zu verbessern.

2 Mit weniger Rohstoffen mehr produzieren

Unternehmen können zugleich umweltfreundlicher und wettbewerbsfähiger werden und mehr Gewinn erzielen, wenn sie weniger Ressourcen verbrauchen und ihre Nutzung optimieren. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist eine erhebliche Zunahme der Ressourceneffizienz erforderlich, um nachhaltiges Wachstum zu erreichen. Auch wirtschaftlich ist dies sinnvoll; die derzeitige ineffiziente Nutzung von Ressourcen kostet die europäische Industrie in der Größenordnung von 100 Milliarden Euro jährlich.

Seit der industriellen Revolution beruhen zunehmender Wohlstand und Reichtum auf

einer intensiven Nutzung der natürlichen Ressourcen („alles, was die Natur zur Verfügung stellt, um vom Menschen gebraucht zu werden, damit er seine Bedürfnisse erfüllen kann – deshalb potentiell wertvoll“), angefangen bei den Metallen, Kohlenwasserstoffen und Mineralien bis zur Biodiversität, genetischen Ressourcen und Ökosystemen [2].

Mit einer ständig wachsenden Wirtschaft ist der globale Rohstoffabbau zwischen 1980 und 2008 um 78 % gestiegen und wird erwartungsgemäß weiter steigen [3]. Wenn die Rohstoffausbeutung in diesem Ausmaß fortschreitet, werden viele kritische Ressourcen bald verbraucht sein. Eine bekannte Tatsache ist, dass wir zweieinhalb Erden benötigen würden, um den Bedarf zu decken, wenn jedermann auf der Welt denselben Ressourcenverbrauch wie ein durchschnittlicher Europäer hätte [4].

2.1 Wachstum und Ressourcenverbrauch entkoppeln

Um nachhaltig zu werden, müssen wir unseren Wohlstand von umweltgefährdenden Eingriffen und vom Ressourcenverbrauch entkoppeln. Beispielsweise ist der Anstieg von wirtschaftlichen Aktivitäten direkt mit der Zunahme von Treibhausgasemissionen verbunden (Abb. 1). Entkoppeln bedeutet, solche Beziehungen zwischen Wirtschaftswachstum und Umweltauswirkungen aufzulösen. Dabei sind die folgende Begriffe zu unterscheiden:

- Ressourcenentkopplung
Rohstoffeinsatz je Wertschöpfungseinheit verringern
- Wirkungsentkopplung
Negative Umweltwirkungen je Wertschöpfungseinheit verringern

2.1 Europäische Ressourceneffizienzpolitik

In der Europäischen Union finden die mögliche Erschöpfung wichtiger Rohstoffe und die damit verbundenen Auswirkungen auf

Europas Wettbewerbsfähigkeit zunehmend Beachtung. Damit hat auch die Verbesserung der Ressourceneffizienz schnell an politischer Bedeutung gewonnen.

Im Einzelnen hat die Europäische Kommission hierzu im Januar 2011 eine Ressourceneffizienz-Initiative (Resource Efficient Europe Flagship Initiative) ins Leben gerufen und damit erstmals den politischen Willen zum Ausdruck gebracht, Ressourceneffizienz als eine Initiative für *Europa 2020* zu verfolgen. Im September 2011 folgte der *Fahrplan für ein ressourceneffizientes Europa* sowie drei Monate später der so genannte Aktionsplan für Ökoinnovation, mit dem die konkreteren Details zu den Zielen der Kommission ausgeführt wurden.

Ressourceneffiziente Produktion ist ein essentieller Teil der Vision der Kommission für ein zukunftsfähiges Europa. Diese beinhaltet zum Beispiel zu erfüllende Mindest-Effizienzstandards und politische Initiativen zur Belohnung betrieblicher Investitionen in Ressourceneffizienz. Das Ziel ist, das Wirtschaftswachstum in Europa tatsächlich von Rohstoffeinsatz und Umweltauswirkungen zu entkoppeln.

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den Ergebnissen und Erfahrungen des europäischen REMake Projekts. Sie stellen die potentiellen Beiträge zur Diskussion, die von Europas Fertigungsindustrie mit ihrer Vielzahl kleiner und mittlerer Unternehmen – oft als das Rückgrat der europäischen Wirtschaft beschworen – zu diesen Politikzielen erbracht werden können. Dabei wird auch auf die spezifischen Bedürfnisse und Probleme dieser Industrie eingegangen.

3 Ressourceneffiziente Fertigung

Die Ressourceneffizienz eines produzierenden Unternehmens (oder eines einzelnen Fertigungsprozesses) ist die Beziehung zwischen Produktionsergebnis und

Ressourceneinsatz. Sie zeigt, wie effizient Ressourcen genutzt werden, um wirtschaftliche Wertschöpfung zu erzielen. Mit knapper werdenden natürlichen Ressourcen und einer deutlichen Verteuerung besonders bei kritischen Rohstoffen und Ressourcen, ist die effiziente Nutzung eine wettbewerbsentscheidende Frage für alle Produktionsbetriebe in Europa.

Auch die Gewinne lassen sich durch effizienten Einsatz von Ressourcen kräftig steigern. Das gesamtwirtschaftliche Einsparpotenzial in Europa in der Größenordnung von 100 Milliarden Euro jährlich kann in substantielle Einsparungen bei jedem einzelnen Unternehmen umgesetzt werden. Die verarbeitenden Betriebe in Europa geben zwischen 30 % und 45 % ihrer Kosten für Rohmaterial und Betriebsstoffe aus. Wenn Energie und Wasser dazugerechnet wird, werden insgesamt rund 50 % der Produktionskosten erreicht. Im Vergleich dazu betragen die Personalkosten nur rund 20 % (Abb. 2 und 3). Dies zeigt, wie nachhaltig sich ressourceneffiziente Produkte und Produktionsprozesse auf den Gewinn jedes verarbeitenden Betriebes auswirken können.

Der Begriff *Ressourcen* umfasst dabei Rohmaterial, eingesetzte Energie und alle Hilfs- und Betriebsstoffe, die für den Produktions- und Wertschöpfungsprozess notwendig sind. Erhöhung der Ressourceneffizienz erfordert deshalb eine integrierte Reduktion von Material, Energie, sonstigen Zulieferungen und Abfallstoffen, weil diese Faktoren in der Regel eng miteinander verknüpft sind.

Bei einem ganzheitlichen Ansatz ist der Nutzen von verbessertem Ressourceneinsatz oft deutlich höher, als wenn man nur eine einzelne Ressource (Materialeinsatz, Energieverbrauch, Abfall, Abwasser) betrachtet. So kann beispielsweise 1 Euro Erspar-

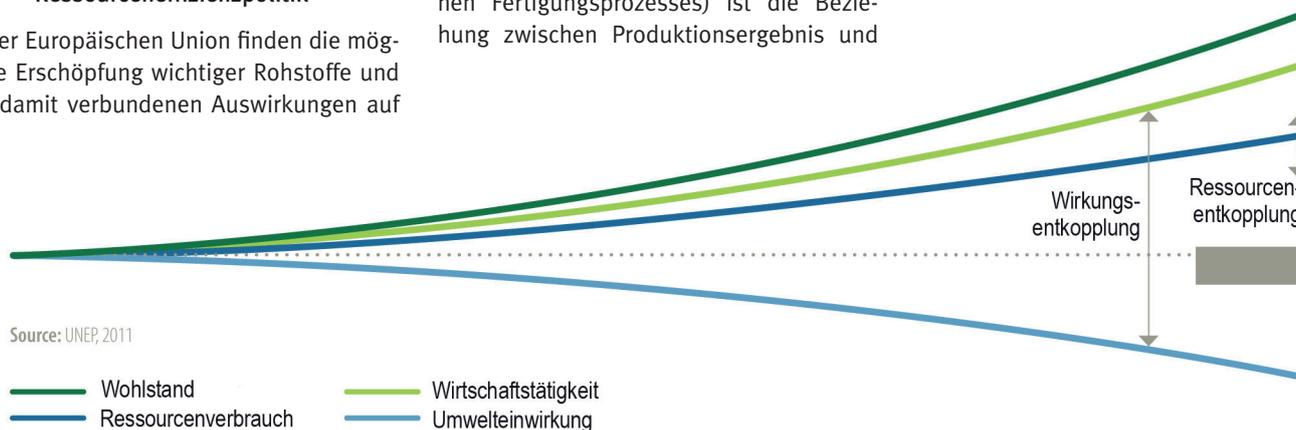


Abb. 1: Entkopplung nach dem Verständnis von REMake

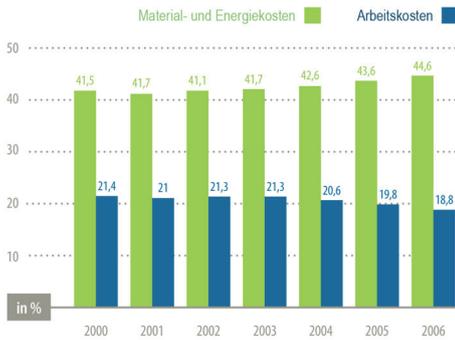


Abb. 2: Material- und Energiekosten / Lohnkosten

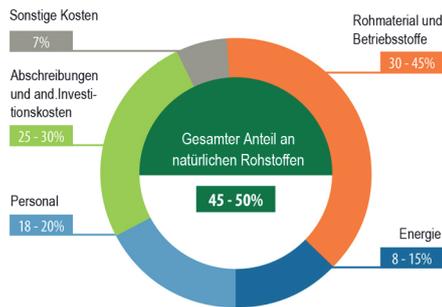


Abb. 3: Kostenanteile

nis bei den Entsorgungskosten eine weitere Einsparung von 7 Euro bis 12 Euro bei anderen Kosten erbringen, zum Beispiel beim Einkauf, in der Verarbeitung oder Lagerung. Außerdem können viele Einsparmaßnahmen relativ einfach und kostengünstig durchgeführt werden. Eine Studie des britischen Umweltministeriums (DEFRA) schätzt, dass die britische produzierende Industrie bereits durch geringfügige Investitionen Kosten von umgerechnet rund 7,7 Mrd. Euro jährlich einsparen könnte [5]. In Deutschland zeigen statistische Daten der

demea (Deutsche Materialeffizienzagentur) von über 600 kleinen und mittleren Produktionsbetrieben, dass im Durchschnitt 5 % bis 10 % des Materialeinsatzes mit einfachen Mitteln eingespart werden können. Dies entspricht einer Gewinnsteigerung von durchschnittlich 2 % bis 2,5 % des Umsatzes der Unternehmen bei einer Amortisationszeit der Investitionen von weniger als einem Jahr [6].

Neben der höheren Ertragskraft kann Ressourceneffizienz außerdem Innovation und Wachstum in produzierenden Unternehmen freisetzen, indem sie die Verbreitung neuer Technologien unterstützt und neue Arbeitsstellen schafft. Dies leitet über zur Optimierung der Wertschöpfung über den ganzen Lebenszyklus hinweg mit allen Produktionsprozessen, Design ökoeffizienter Produkte sowie Recycling und Wiederverwendung von Abfallstoffen.

3.1 Lebenszyklusansatz

Bei Betrachtung des Lebenszyklus eines Produktes zeigt sich, dass ineffiziente Nutzung von Ressourcen über die gesamte Wertschöpfungskette bis zum Ende der Produktlebensdauer auftreten kann. Indem alle Stationen des Produktlebenszyklus in den Blick genommen werden, versucht ein solche Lebenszyklusanalyse Verbesserungsmöglichkeiten an Gütern zu ermitteln, die alle Bereiche vom Rohstoffabbau über Umwandlung, Fertigung, Transport, Konsum, Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung minimiert.

3.2 Neuer Denkansatz

An jedem Punkt entlang der Wertschöpfungskette kann der Einsatz natürlicher

Organisationen, die Ressourceneffizienz wirksam in ihre zentrale Strategie und Geschäftstätigkeit einbinden, können damit Ertragswachstum und Kostenreduktion fördern und das Risikomanagement verbessern. Außerdem können sie ihr Markenimage und Renommee verbessern (Weltwirtschaftsforum)

Ressourcen optimiert werden. *Ein integriertes Produktdesign und eine verbesserte Fertigungstechnik, die den Faktor der Rohstoffeffizienz in Betracht ziehen, werden die betroffenen Produkte über ihren Lebenszyklus hinweg insgesamt umweltfreundlicher machen, die Produktionsphase mit eingeschlossen. Ökologische Nachhaltigkeit ist auch ein Motor für neue Produkte und Märkte. Fertigungstechniken und -technologien sind die Grundvoraussetzung für die Gewährleistung ressourceneffizienter Produkte der nächsten Generation [7].*

Das Potenzial von Rohstoffeffizienzmaßnahmen in der produzierenden Industrie ist also klar, genauso wie die Dringlichkeit dieser Aufgabe für die europäische Industrie. Wie sich gezeigt hat, ist es für kleine und mittlere Unternehmen dennoch nicht leicht, entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung des Rohstoffeinsatzes umzusetzen, trotz der ganz eindeutigen ökologischen und ökonomischen Vorteile, die dadurch erzielt werden könnten. Dies ist der Grund, weshalb innerhalb des REMake Projekts Lösungen entwickelt wurden (Abb. 4), um mittelständischen Unternehmen den Zugang zu Rohstoffeffizienzmaßnahmen zu erleichtern.

Strategien zur Lebenszyklusoptimierung

Quelle: Eigene Ausarbeitung basierend auf Lowell Centre of Sustainable Production

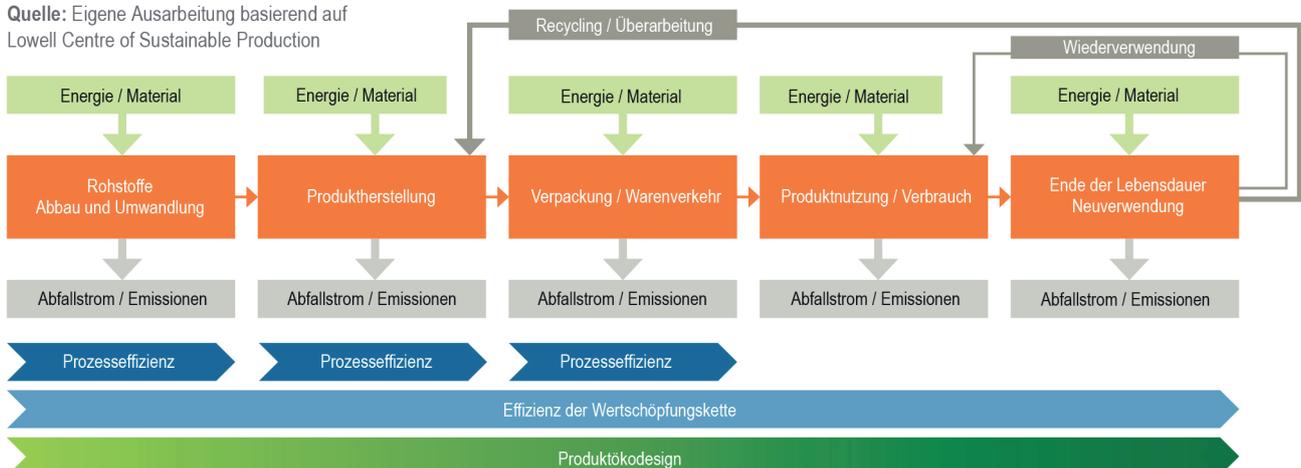


Abb. 4: Strategien zur Lebenszyklusoptimierung (Quelle: Eigene Ausarbeitung basierend auf „Lowell Centre of Sustainable Production“)

Design-Tools können bei der Auswahl von Grundmaterialien helfen, die möglichst geringe Umweltauswirkungen aufweisen und die Minimierung des Ressourceneinsatzes in der Fertigung unterstützen. Zukünftige Entwicklungen sollten insbesondere auch folgende Themen beinhalten:

- Weiterentwicklung von Fertigungsinformationssystemen mit Rückkopplung in die Produktgestaltung und -entwicklung, um hier die Ressourceneffizienz von Produkten über ihren Lebenszyklus hinweg besser bewerten und überwachen zu können
- Verbesserte Lösungen für die Simulation und darauf aufbauende Bewertung von Produktnutzen und Umweltauswirkungen des Produkts [11]

Im Rahmen des REMake Projekts wurde eine Reihe von Öko-Design-Tools getestet. Dabei konnte der Nutzen dieser Ansätze an praktischen Beispielen aufgezeigt werden, mit jeweils erheblichen Verbesserungen beim Rohstoffverbrauch und bei den Umweltauswirkungen in der Fertigung und während der Nutzungsdauer der optimierten Produkte.

4.3.1 Ressourcen-Einsparpotenzial der fertigen Industrie

Im Verlauf des REMake Projektes wurden 100 Fallstudien an Unternehmensdaten aus Deutschland analysiert, die im Rahmen des Deutschen Material-Effizienz-Programms [12] durchgeführt worden sind, um die Rohstoffeffizienz von Fertigungsunternehmen zu verbessern. Die Analyse umfasste die verschiedenen Sektoren der fertigen Industrie mit dem Schwerpunkt auf Metallverarbeitung, Maschinenbau und Automobilzulieferer. Primäres Ziel aller Fallstudien war, Rohstoffeinsparungen in den untersuchten Unternehmen zu erreichen, obgleich verschiedene Maßnahmen zusätzlich dazu beitrugen, Einsparungen im Energieverbrauch, bei den Arbeitskosten und der Produktionskapazität zu erzielen.

Abbildung 6 zeigt die durchschnittlichen jährlichen Einsparungen (in Euro) im Vergleich mit den durchschnittlichen Investitionskosten, die notwendig waren, um diese Ergebnisse zu erzielen. In den meisten dieser Fallstudien wurde nur eine einmalige Investition benötigt, die in der Regel in weniger als einem Jahres amortisiert werden konnte. Dies wird leicht deutlich, wenn man Materialeinsparungen und Andere Einsparungen in der Abbildung addiert und mit den Investitionskosten vergleicht.

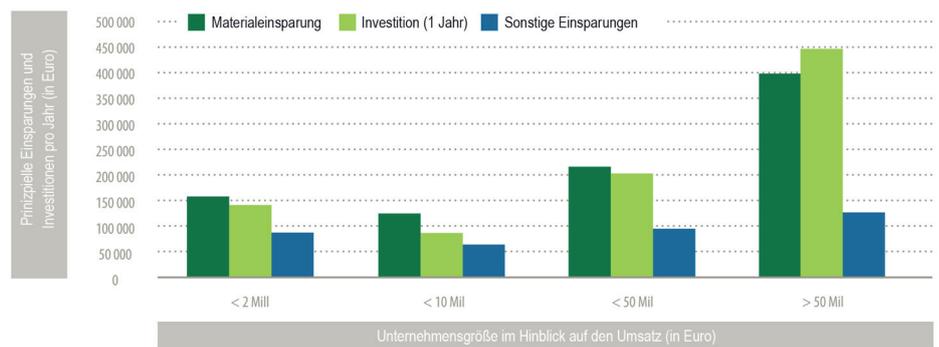


Abb. 6: Rohstoffeinsparungen und Investitionen in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße

Im Durchschnitt aller Fallstudien erreichten die Materialeinsparungen in den untersuchten Fertigungsbetrieben rund 7 %, bezogen auf den entsprechenden Materialeinsatz. Dabei wurden in vielen Unternehmen deutlich höhere Einsparungen erzielt, die in einzelnen Fällen über 20 % erreichten. Während dabei die Absolutwerte der Einsparungen und Investitionen erwartungsgemäß mit der Unternehmensgröße zunahm, waren die auf den Materialeinsatz bezogenen Einsparungen bei kleinen Unternehmen am höchsten, sie erreichten im Durchschnitt 9 % des Materialeinsatzes (Abb. 7). Viele der größeren Unternehmen hatten in der Vergangenheit bereits Schritte zur Senkung ihrer Materialkosten unternommen, dennoch konnten auch diese Unternehmen deutlich von den im Rahmen der Fallstudien erarbeiteten Maßnahmen profitieren.

Abbildung 8 zeigt die unterschiedlichen Arten von Optimierungsmaßnahmen zur Realisierung der vorstehenden Einsparpotenziale. Die häufigsten Maßnahmen betreffen die Optimierung der Fertigungsprozesse und die Verbesserung der Fertigungsorganisation. Danach folgte die Optimierung von Nebenprozessen wie Lagerhaltung und Logistik sowie Mitarbeiterschulungen (vor allem bei größeren Unternehmen).

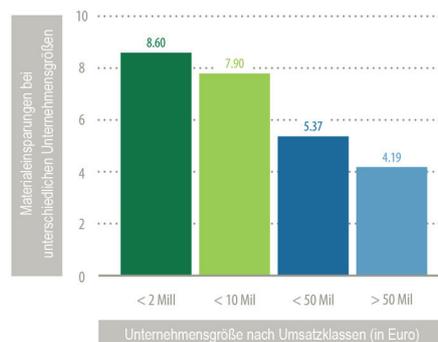


Abb. 7: Materialeinsparungen bei unterschiedlichen Unternehmensgrößen

4.4 Optimierung der Wertschöpfungskette

Wird die gesamte Wertschöpfungskette (bzw. Lieferkette) eines Produktes betrachtet, so können noch deutlich höhere Einsparungen erreicht werden als bei der zuvor betrachteten einzelbetrieblichen Optimierung. Damit ist keineswegs nur eine schlichte Addition der Potenziale verschiedener Unternehmen der Lieferkette gemeint. Vielmehr legt eine im Rahmen des REMake Projekts initiierte Pilotstudie [13] nahe, dass besonders an Schnittstellen zwischen den Betrieben, die in den zunehmend komplexeren Lieferketten zusammenarbeiten, ein sehr hohes Einsparpotenzial liegt. In den in der Studie untersuchten Fällen lag dieses Einsparpotenzial über 50 % bezogen auf den entsprechenden Rohstoffeinsatz, während die vergleichbaren einzelbetrieblichen Optimierungen im Mittel etwa 10 % betragen. Selbstverständlich ist die Optimierung der Rohstoffeffizienz über die Wertschöpfungskette ein schwieriger Weg, und bisher liegen noch kaum praktische Erfahrungen mit der Umsetzung solcher Maßnahmen vor. Dennoch erscheint der Ansatz im Hinblick auf langfristig ausgerichtete ökologische und ökonomische Produktionsoptimierung als vielversprechend. In einer Lieferket-

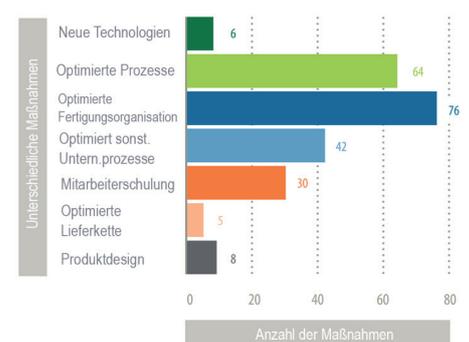


Abb. 8: Relevanz verschiedener Optimierungsmaßnahmen

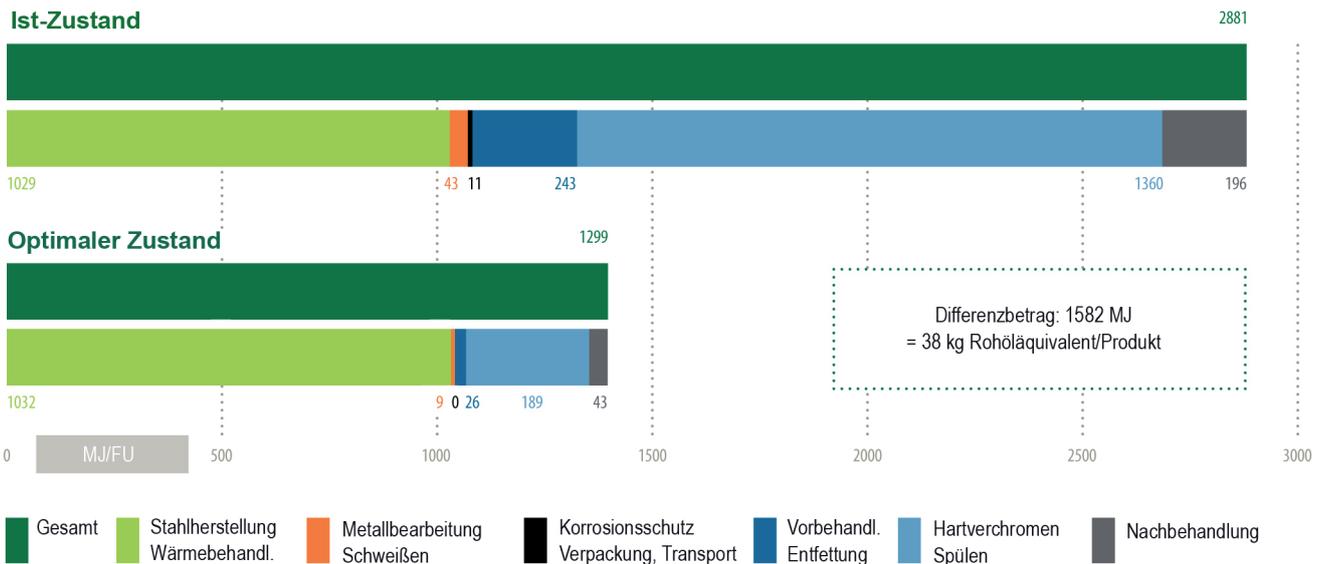


Abb. 9: Beispiel für die Optimierung der Prozesskette

te ist der Output eines Betriebs der Input des nächst folgenden. Diese Schnittstellen in der Lieferkette sind aber selten optimal aufeinander abgestimmt, so dass oft beim nachfolgenden Betrieb zuerst Vorbehandlungsschritte erforderlich sind, bevor der eigentliche nächste Fertigungsschritt durchgeführt werden kann. Eine ganzheitliche Optimierung der Wertschöpfungskette – von den Rohstoffen bis zur Auslieferung des fertigen Produkts – könnte deshalb bereits allein durch Wegfallen solcher Zwischenschritte erhebliche Einsparpotenziale freisetzen. Eine Wertschöpfungskette in dieser Weise zu beherrschen, erfordert jedoch ein hohes Maß an Kommunikation und Kooperation, das so über Betriebsgrenzen hinweg bisher nicht gegeben ist.

Um dennoch das mit Lieferkettenoptimierung erreichbare Potenzial an konkreten Beispielen zu veranschaulichen, wurden in der vorgenannten Pilotstudie die Lieferketten von zwei typischen Industrieprodukten mittels Lebenszyklussimulation untersucht. Dabei wurde jeweils der Rohstoffeinsatz im Ist-Zustand und im optimierten Zustand verglichen. Ausgangspunkt waren jeweils reale Produktionsdaten der beteiligten Unternehmen. Ziel war, die Einsparpotenziale zu ermitteln, die durch best-verfügbare Technologien (BVT) und optimale Abstimmung der Produktionsverfahren über die Schnittstellen der Lieferkette hinweg im Vergleich zur einzelbetrieblichen Optimierung erzielt werden können. Die Ergebnisse zeigen die oben genannten sehr großen Einsparmöglichkeiten auf, die in den beiden Fallstudien über 50 % der nichtregenerierbaren Rohstoffe über den Lebenszyklus hinweg betragen.

4.4.1 Optimierung bei der Produktion von Hydraulikstangen

Hydraulikstangen sind ein wichtiges und viel verwendetes Bauteil im Maschinenbau, typische Beispiele sind Hubeinrichtungen, Handhabungstechnik, Baumaschinen oder Fahrzeugstoßdämpfer. Sie werden aus Stahl hergestellt, der nachfolgend feinbearbeitet und zuletzt beschichtet wird, damit maximaler Korrosionsschutz, Härte und eine fehlerlose Oberfläche gewährleistet sind, um ein bestmögliches Funktionieren des Hydrauliksystems zu ermöglichen. Als Beschichtung wird in aller Regel die Hartverchromung gewählt, welche die beste Kombination aus hoher Härte, guten Gleiteigenschaften und hohem Korrosionsschutz bietet.

Um das Einsparpotenzial dieser Wertschöpfungskette zu ermitteln, wurde ausgehend von den Daten eines modernen Hartverchromungsbetriebs die gesamte Lieferkette im Detail simuliert. Dabei wurden zwei Szenarien untersucht, die sich im Wesentlichen hinsichtlich der Qualität des eingesetzten Stahls unterschieden. Im einen Fall wurde möglichst preiswerter Stahl verwendet, dessen Auswahl sich allein an den Kosten- und Produktionsvorgaben des Bauteilherstellers orientierte. Im zweiten Fall wurde ein höherwertiger Stahl eingesetzt, der auch die Erfordernisse der letzten Produktionsstufe – der Hartverchromung – mit einbezog.

Für beide Szenarien wurde jeder einzelne Produktionsschritt hinsichtlich des benötigten Ressourceneinsatzes untersucht. Dies umfasste sowohl den primären Ener-

gieverbrauch bei der Materialherstellung und -verarbeitung und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen als auch den Verbrauch aller wichtigen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe. Zur einfacheren Vergleichbarkeit wurden alle (auch die stofflichen) Verbräuche in Primärenergieverbrauch umgerechnet.

Die Lebenszyklussimulationen haben klar aufgezeigt, dass die Verwendung der für die folgenden Prozessstufen optimierten Stahlqualität zunächst einen höheren Energieeinsatz bei der Stahlerzeugung benötigt. Der erhöhte Energieverbrauch wird aber bereits durch geringeren Materialverlust bei der spanenden Bearbeitung zur Bauteilherstellung ausgeglichen. In der abschließenden Hartverchromung ergeben sich dann durch die optimierte Stahlqualität hohe Einsparungen sowohl an Material- als auch Energieverbrauch aufgrund einer massiven Reduktion von Ausschuss, der sonst nur durch wiederholtes Beschichten bis hin zum wieder Einschmelzen des Bauteils ausgeglichen werden kann. Je Standard-Hydraulikstange ergeben sich Energie- und Materialeinsparungen (umgerechnet in Primärenergieverbrauch) von 1582 MJ oder 38 kg Rohöläquivalent. *Abbildung 9* illustriert dieses Einsparpotenzial sehr anschaulich.

5 Förderung der Ressourceneffizienz in mittelständischen Unternehmen

Im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Projekts REMake erhielten mittelständische Unternehmen fachliche Unterstützung zur Analyse ihrer Betriebsprozesse und Verbesserung der

Material- und Energieeffizienz. Besonderer Wert wurde dabei auf transparente Methoden und eine hohe Rentabilität der Verbesserungsmaßnahmen für die Unternehmen gelegt. Ein weiterer Schwerpunkt war eine möglichst einfache Abwicklung der geförderten Beratung.

Seit 2009 sind mit REMake Förderinstrumente sowie Analyse- und Beratungswerkzeuge entwickelt, bewertet und erprobt worden, mit deren Hilfe Innovationen zur Verbesserung der Ökoeffizienz (besonders Rohstoffeffizienz) von Produkten und Produktionsprozessen in einfacher Weise realisiert werden können. Dies geschah in einem Austausch von Erfahrungen und Best-Practice Wissen zwischen öffentlichen Projektträgern, kompetenten technischen Instituten und Industrieexperten aus sechs europäischen Ländern. Damit konnte die europaweite Relevanz und Anwendbarkeit der entwickelten Instrumente sichergestellt werden.

5.1 Instrumente der Ökoeffizienzberatung

Ausgehend von bereits bestehenden Lösungen und Ansätzen wurde ein abgestimmtes Set validierter Beratungsinstrumente zur Verbesserung der Ökoeffizienz mittelständischer Produktionsunternehmen erarbeitet. Dieser modulare *Werkzeugkasten* umfasst vorwiegend frei verfügbare Konzepte und Software-Instrumente zur Potentialanalyse, zur Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen, zur Lebenszyklusanalyse und darauf aufbauende Ökodesignwerkzeuge sowie einige speziellere Instrumente des Innovationsmanagements:

- REMake Selbstcheck zur Ressourceneffizienz
Für eine schnelle und einfache Erstbeurteilung der Ökoeffizienz eines kleinen oder mittleren Unternehmens steht ein kurzer Online-Fragebogen unter www.ecomanufacturing.eu zur Verfügung. Diese Selbstanalyse ist zwar subjektiv, ermöglicht durch einen Vergleich mit den Antworten anderer Unternehmen aber doch eine schnelle erste Orientierung zu Verbesserungsmöglichkeiten und Einsparpotenzialen. Hierzu kann ein aussagefähiger Bericht generiert werden (©REMake Konsortium).
- REMake Leitfaden zu Normen und Vorschriften
Diese Datenbank ermöglicht kleinen und mittleren Unternehmen, zu beurteilen, wie weit sie den umweltrelevanten Vorschriften und Normen entsprechen, die sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene bestehen. Eine Suche nach unterschiedlichen Kategorien ist möglich, beispielsweise nach Lebenszyklusphase (wie Produktion, Verpackung, Transport, Gebrauch, Entsorgung), Themen (wie Abfall, Energie, Emissionen, Material, Maschinen und Anlagen, Personal), Branche und weiteren Schlüsselwörtern (©REMake-Konsortium).
- PIUS
Bei PIUS (Produktintegrierter Umweltschutz) handelt es sich um ein Rahmenkonzept für Potenzialanalysen (©Efa Effizienzagentur NRW, Duisburg).
- STAN2
Frei erhältliche Software STAN (Abb. 10) wurde zur Erstellung von Materialfluss-

analysen z. B. für Potenzialanalysen in der Prozessoptimierung entwickelt (© IWR Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien).

- ATEP
ATEP ist eine Software zur Unterstützung des Öko-Design Prozesses industriell gefertigter Produkte. Basierend auf einer Auswertung einer Vielzahl von Produktökobilanzen werden verallgemeinerte Regeln für die Beurteilung und Optimierung der Ökoeffizienz zur Verfügung gestellt (© CETIM Centre Technique des Industries Mechaniques, St. Etienne).
 - eVerDEE, CCaLC
eVerDEE und CCaLC sind frei erhältliche, vereinfachte Lebenszyklusanalyse-Werkzeuge für die Erstellung von Ökobilanzen von Produkten (eVerDEE © ENEA, Rom; CCaLC © School of Chemical Engineering and Analytical Science, Universität Manchester).
 - Ecotriz
Die anspruchsvolle Optimierungsmethode für ökologisches Produktdesign basiert auf einer Kombination von eVerDEE mit der TRIZ-Methode (© A.I.M. Active Innovation Management, Palaiseau).
- Für die Ökoeffizienz- (bes. Rohstoffeffizienz-)beratung ist Erfahrung in der betreffenden Industriebranche unerlässlich. Unter dieser Voraussetzung können diese Instrumente eine gute Hilfe zur Analyse und Optimierung komplexer Prozesse und Produkte leisten. Die REMake Partner stellen ihre Fachkenntnisse und Erfahrung aus der umfassenden Erprobung und Anwendung dieser Werkzeuge den produzierenden Un-

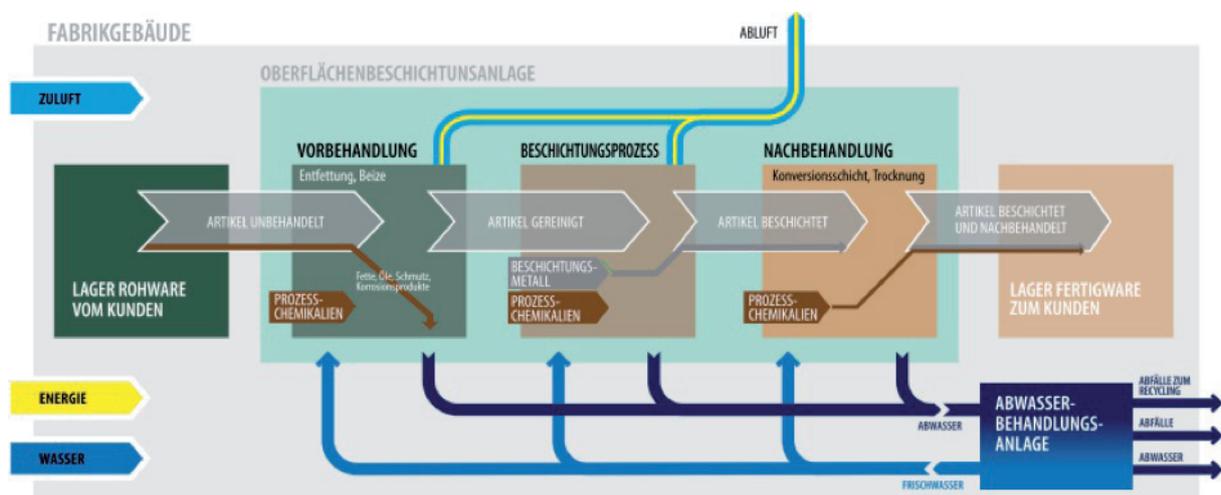


Abb. 10: Element in STAN

ternehmen wie Beratern in ganz Europa zur Verfügung und bieten auch Training dazu an. Werkzeuge und entsprechende Fallstudien sind unter www.ecomanufacturing.eu abrufbar.

5.2 Förderung mit Gutscheinen

Beratungsgutscheine ermöglichen eine schnelle und unkomplizierte Teilfinanzierung von Ökoeffizienzmaßnahmen durch entsprechende öffentliche Förderprogramme. Das Ziel ist, den Unternehmen bei der Bestimmung ihrer Einsparpotenziale kompetente Unterstützung zu gewähren, damit Optimierungsmaßnahmen sich auch schnell und wirksam in Ertragssteigerungen niederschlagen.

Im Rahmen von REMake wurden hierzu in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien und Spanien Förderkonzepte erprobt, die sowohl Rohstoffeffizienz-Audits beziehungsweise Potentialanalysen als auch dem entsprechende Umsetzungsmaßnahmen umfassten. Während die Ausgestaltung dieses Förderansatzes im Einzelnen nationale Gegebenheiten berücksichtigte, konnte die grundlegende Konzeption in allen Partnerländern mit großem Erfolg bestätigt werden.

Durch kompetente und zielgerichtete Unterstützung ist gewährleistet, erforderliche Optimierungsmaßnahmen kurzfristig zu planen und durchzuführen. Die Kosten können zur Hälfte über das Rohstoffeffizienzprogramm des Bundeswirtschaftsministeriums (go-effizient) finanziert. Dafür ist keine Antragstellung erforderlich; abgerechnet wird schnell und unbürokratisch über Gutscheine.

6 Ausblick auf weitere Entwicklungen

6.1 Für besseres Verständnis von Ressourceneffizienz

Ressourceneffizienz ist für die verarbeitenden Unternehmen in Europa nicht nur ein kritisches Thema in Bezug auf die Umwelt, sie ist heute auch bereits ein ganz entscheidender Wettbewerbsfaktor. Um dieser Herausforderung angemessen zu begegnen, ist es wichtig, die vier Dimensionen zu verstehen, die der Begriff Ressourceneffizienz beinhaltet. Dies sind alle Rohstoffe, der gesamte Energieeinsatz und sämtliche Hilfs- und Betriebsstoffe, die benötigt werden, um ein Produkt herzustellen sowie die Abfallströme und Emissionen, die so weit wie möglich zurückgewonnen und in die Produktion rückgeführt werden müssen.

Alle vier Dimensionen des Ressourcenbegriffs – Rohstoffe, Energie, Betriebsstoffe und Abfall – sind über den Lebenszyklus in einer engen Wechselwirkung miteinander verknüpft. Deshalb müssen, wenn man die Ressourceneffizienz in der Fertigung, beim Gebrauch des Produktes und beim Recycling signifikant steigern will, alle vier Aspekte in einem integrierten Ansatz optimiert werden. Bei der Betrachtung nur einer Dimension alleine, wird das nicht zu optimalen Ergebnissen führen.

Ressourceneffizienz kann außerdem auf drei verschiedenen Feldern verbessert werden, die gleichfalls Rückkopplungen untereinander aufweisen:

- Ressourceneffiziente Fertigung und Recyclingprozesse in einem einzelnen Fertigungsbetrieb
- Ökoeffiziente Gestaltung des Produktes, die sowohl einen niederen Ressourcenverbrauch während des Gebrauchs des Produktes garantiert als auch eine effiziente Herstellung und effizientes Recycling
- Integrierte Verbesserung über alle Schnittstellen der komplexen Wertschöpfungsketten hinweg (d.h. zwischen den einzelnen Betrieben)

Die Komplexität dieser Zusammenhänge muss besser verstanden und berücksichtigt werden, wenn

- Ressourceneffizienzprogramme und Umsetzungsstrategien gestaltet werden
- Aussagefähige Indikatoren und Performanz-Benchmarks für Ressourceneffizienz entwickelt werden, wie dies als prioritäre Maßnahme im Europäischen *Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa* vorgesehen ist, und
- Forschungs- und Entwicklungsprogramme für die Industrie aufgestellt werden, um neue Technologien und Maßnahmen für Ressourceneffizienz zu entwickeln, wie etwa Horizon 2020.

Ressourceneffizienz handelt also nicht etwa nur von Energieverbrauch auf der einen Seite oder der Substitution kritischer Rohstoffe auf der anderen. Vielmehr geht es bei Ressourceneffizienz um den insgesamt intelligentesten Weg bei der Nutzung all unserer natürlichen und rückgewonnen Rohstoffe und Energiequellen

6.2 Bedürfnisse der verarbeitenden Unternehmen

Die meisten kleinen und mittleren Unternehmen der verarbeitenden Industrie sind bisher zurückhaltend bei der Einführung

von Ressourceneffizienz-Maßnahmen, trotz der wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile, die damit erreicht werden können. Der Mangel an Information und relevantem Fachwissen wurden in verschiedenen Studien [14] als Hauptgründe für dieses Versagen festgestellt. Die Erfahrung aus REMake bestätigt dies ebenfalls. Die Ursachen sind insbesondere:

- Fehlendes Bewusstsein bei Entscheidungsträgern in mittelständischen Unternehmen über die Relevanz der Ressourceneffizienz und über die Chancen, die in der Optimierung der Produktionsprozesse liegen (z.B. substantielle Kosteneinsparungen)
- Ungenügende Datenlage bei Vergleichen von Produktionsprozessen und alternativen Technologien, Lebenszyklusdaten und Auswirkungen verschiedener Materialien, Produkte und Anwendungen und Recyclingdaten
- Wissenslücken beim Zugang zu Technologien und innovativen Lösungen, bei Kooperationsmöglichkeiten wie etwa Netzwerken für Erfahrungsaustausch und gemeinsame Technologieentwicklung oder Kooperationen innerhalb von Lieferketten und über Branchengrenzen hinaus
- Ungenügende finanzielle Investitionsanreize für ressourceneffiziente Technologien sind in Anbetracht der Risiken und Kosten, die bei der Integration neuer Technologien in bestehende Produktionsprozesse entstehen, sind ein weiteres wichtiges Hindernis. Die Integration neuer Technologien ist oft mit komplexen Problemen verbunden, während gleichzeitig eine garantierte Produktqualität als *conditio sine qua non* erhalten werden muss.

Außerdem müssen branchenspezifische Themen berücksichtigt werden wie zum Beispiel nach Branchen unterschiedliche Ansatzpunkte für die Optimierung der Ressourceneffizienz bei der Produktgestaltung, bei Produktionsprozessen oder beim Recycling. In manchen Branchen sind die kleinen und mittleren Unternehmen auch gefangen zwischen großen Zulieferern auf der einen und großen Endkunden auf der anderen Seite, sodass die Optionen, innovative ressourceneffiziente Lösungen einzuführen, begrenzt sind (Beispiel: von Automobilherstellern vorgegebene Standards für Korrosionsschutzbeschichtungen, die auf Vorgaben der Chemielieferanten der betroffenen Beschichtungsbetriebe beruhen).

Gleichzeitig gibt es viele Gründe, die für eine Verbesserung der Ressourceneffizienz

sprechen, sei es aufgrund der Marktnachfrage, wegen Umweltlabels, die zunehmend bedeutender werden, oder zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, welche die am stärksten treibende Kraft für mittelständische Unternehmen ist. Darauf aufbauend könnten mittelständische Unternehmen besonders durch stärkere Einbindung ihrer einschlägigen Industrieverbände und anderer etablierter Partner der Unternehmen mit größerer Breitenwirksamkeit für das Thema Ressourceneffizienz gewonnen werden.

Literatur

- [1] Europäische Kommission, 2005
- [2] Zitat aus dem Spanischen Gesetz Nr. 42/2007 zu Naturerbe und Biodiversität
- [3] Eco-Innovation Observatory – Closing the Eco-Innovation Gap: An Economic Opportunity for Business. Jahresbericht (2012)
- [4] Europäische Kommission – Faktenblatt: Nachhaltiger Verbrauch und Produktion (2008)
- [5] Department for the Environment, Food and Rural Affairs – Quantification of the Business Benefits of Resource Efficiency (2007)
- [6] Eco-Innovation Observatory – Closing the Eco-Innovation Gap: An Economic Opportunity for Business. Annual Report (2012)
- [7] Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) – Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Towards a Green Economy (2009)
- [8] Lowell Centre For Sustainable Production – A New Way of Thinking (2009)
- [9] Europäisches Umweltamt – Designing Greener Electronic Products: Building Synergies Between EU Product Policy Instruments or Simply Passing the Buck? (2010)
- [10] Eurobarometer – Attitudes of Europeans to Resource Efficiency (2011)
- [11] EFFRA – Factories of the Future 2020 Roadmap, Working Document May 2012
- [12] Jetzt Modul „go-effizient“ im Förderprogramm BMWi-Innovationsgutscheine – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, <http://www.bmwi-innovationsgutscheine.de/>
- [13] Greenovate! Europe - Study on Resource Efficiency Potentials in Manufacturing (December 2012)
- [14] Ecorys – Study of the Competitiveness of European Companies and Resource Efficiency (2011), S. 7.; VDI Zentrum Ressourceneffizienz – Umsetzung von Ressourceneffizienz-Maßnahmen in KMU