

Ostertag, Katrin; Tercero Espinoza, Luis; Sartorius, Christian:
Innovationsdynamik in rohstoffintensiven Produktionsprozessen
In: Teipel, Ulrich (Hrsg.): Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen
Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2010, S. 33–46.

INNOVATIONSDYNAMIK IN ROHSTOFFINTENSIVEN PRODUKTIONSPROZESSEN

K. Ostertag*¹, L. Tercero Espinoza*², Ch. Sartorius*³

* Fraunhofer ISI, Breslauerstr. 48, 76139 Karlsruhe

¹ e.mail: katrin.ostertag@isi.fraunhofer.de, ² luis.tercero@isi.fraunhofer.de, ³ christian.sartorius@isi.fraunhofer.de

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Rohstoffversorgung und Ressourceneffizienz haben in den letzten Jahren auf der politischen und der Forschungsagenda erheblich an Gewicht gewonnen und sich neben Klimaschutz zu einem zentralen Thema entwickelt. Ausschlaggebend dafür sind mehrere Treiber. Die Globalisierung und die – u. a. durch bestimmte technologische Entwicklungen [1; 2] und schnell wachsende Volkswirtschaften wie China getriebenen – starken Nachfragezuwächse haben zu beträchtlichen Preisschwankungen und -steigerungen geführt. Insbesondere für rohstoffarme, importabhängige Länder wie Deutschland wirft dies Fragen der Versorgungssicherheit im Zusammenhang mit der Endlichkeit nicht-nachwachsender Rohstoffe auf.

Unter dem weiteren Gesichtspunkt des Umweltschutzes stellen viele Rohstoffe große Massenströme mit erheblichen Umweltwirkungen entlang ihrer Wertschöpfungskette dar. Ressourceneffizienz wird deshalb auch als übergreifender Ansatz zum integrierten Umweltschutz verfolgt. Ähnlich wie mit Energieeffizienztechnologien sollen damit gleichzeitig ein erhebliches Modernisierungs- und Kosteneinsparpotential erschlossen und positive Impulse für die wirtschaftliche Entwicklung generiert werden.

Rohstoffe intelligenter und effizienter zu nutzen ist deshalb ein elementarer Beitrag zur Sicherung des Industriestandortes Deutschland. Gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten stärkt eine hohe Ressourceneffizienz die deutsche Industrie im globalen Wettbewerb. Die Bundesregierung verfolgt deshalb mit der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, bis 2020 die Energie- und Rohstoffproduktivität der deutschen Wirtschaft zu verdoppeln. Um solche Herausforderungen zu meistern, sind Innovationen in hohem Maße erforderlich. Im Rahmen der Hightech-Strategie und des Masterplans Umwelttechnologien unterstützt die Forschungspolitik deshalb die Entwicklung innovativer Effizienztechnologien.

Der vorliegende Beitrag will die Informationsgrundlagen für die gezielte Förderung von Innovationen zur Steigerung der Ressourceneffizienz verbessern. Er untersucht die Innovationsdynamik in verschiedenen Technikfeldern der Ressourceneffizienz an Hand von Patentdaten als Indikator für die technologische Wissensbasis. Die Identifizierung besonders

dynamischer Technikfelder und Länder sowie ihre Gegenüberstellung mit weniger dynamischen Feldern bzw. Ländern liefert eine Grundlage zur weiteren Analyse des „Innovationssystems Ressourceneffizienz“ im Hinblick auf Erfolgsfaktoren für Ressourceneffizienzinnovationen.

Vorangegangene Studien zeigen für manche Bereiche der Ressourceneffizienz eine eher unterdurchschnittliche Innovationsdynamik, wenn man sie mit anderen Technologien zur Steigerung der Nachhaltigkeit vergleicht¹. Es ist deshalb wichtig, das Gebiet der Ressourceneffizienztechnologien eingehender zu untersuchen. Von besonderem Interesse ist die Ressourceneffizienz in rohstoffnahen Industrien mit hohem Materialeinsatz. Da man sich hier eine große Hebelwirkung verspricht [4], fördert das BMBF derzeit im Förderschwerpunkt "r² - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - rohstoffintensive Produktionsprozesse" gezielt Technologieentwicklung in diesem Segment. Um die relativen Stärken und Schwächen dieses Teilbereichs besser einschätzen zu können, wird er der Innovationsdynamik im Bereich Ressourceneffizienz insgesamt gegenübergestellt. Da die betroffenen Branchen international aufgestellt sind, liefert diese Betrachtung auch einen wichtigen Beitrag für die strategische Orientierung unternehmerischer Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet.

Der Beitrag stützt sich auf mehrere Vorstudien des Fraunhofer ISI und seine laufenden Arbeiten im Integrations- und Transferprojekt zum BMBF Förderschwerpunkt "r² - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - rohstoffintensive Produktionsprozesse"².

2 Methodik und Datengrundlage

In diesem Beitrag wird die Innovationsdynamik anhand von Patentdaten dargestellt. Patente stellen kodifiziertes Wissen dar und charakterisieren die Wissensbasis einer Volkswirtschaft. Sie gelten zugleich als Frühindikator für die zukünftige technische Entwicklung. Damit zeigen sie eine Facette der technologischen Leistungsfähigkeit und der internationalen Wettbewerbsfähigkeit eines Landes [5]. Bei Umwelttechnologien – und in besonderem Maße integrierten Umweltschutz- und Effizienztechnologien – stellt sich zwar das Problem, dass sie sich in den üblichen statistischen Klassifikationen überwiegend nicht als solche widerspiegeln. Patentdaten haben jedoch den Vorzug, dass sie bei entsprechenden methodischen und technischen Kenntnissen eine disaggregierte Betrachtung der relevanten Technikfelder und einen internationalen Vergleich über die Zeit hinweg erlauben.

¹ Vgl. [3], insbesondere Abb. 4-1 und 7-5.

² Siehe auch www.r-zwei-innovation.de.

Einschränkend muss jedoch bemerkt werden, dass Patente nur einen Teil der Wissensbasis abbilden und dass das Innovationsgeschehen und die technologische Leistungsfähigkeit durch viele weitere Akteure und Aktivitäten im Innovationssystem beeinflusst werden. Für die ganzheitliche Beurteilung der Innovationsdynamik führt das Fraunhofer ISI deshalb derzeit weitere qualitative und quantitative Analysen im Rahmen des Integrations- und Transferprojekts im BMBF-Förderschwerpunkt „r² - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“ durch.

2.1 Patentdaten zur Darstellung der Innovationsdynamik und -muster

Die Patentrecherchen, die diesem Beitrag zugrunde liegen, wurden über das Online-Portal orbit.com des Datenbankanbieters Questel recherchiert. Sie knüpfen vorrangig bei den Patentanmeldungen über das PCT-Verfahren³ an, mit dem Anmeldungen bei der WIPO (World Intellectual Property Organisation) hinterlegt werden können (WOPATENT). Da dieses Anmeldeverfahren erst in jüngerer Zeit an Beliebtheit gewonnen hat und da es auch weitere Möglichkeiten für internationale Anmeldungen von Patenten gibt, werden zusätzlich Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt hinzugerechnet (EPPATENT), wobei Doppelzählungen von identischen Erfindungsmeldungen ausgeschlossen werden. Damit wird eine Methode zur Abbildung der internationalen Patente herangezogen, die nicht auf einzelne Märkte wie Europa abzielt, sondern einen stärker transnationalen Charakter aufweist. Der Fokus auf internationale Patentanmeldungen wird außerdem allgemein als Filter verwendet, um Patente mit geringem ökonomischen Potential zumindest teilweise auszusortieren, denn für die transnationalen Anmeldeverfahren entstehen höhere Kosten als bei nationalen Patentämtern.

Die Anmeldungen werden entsprechend dem Wohnort der Erfinder den Ländern zugeordnet, was erfahrungsgemäß die Verzerrungen minimiert. Als Beobachtungszeitraum wird die Entwicklung seit 1991 bis zum aktuellsten verfügbaren Jahr (derzeit 2006) betrachtet. Für den Ländervergleich werden Zeitscheiben von jeweils vier Jahre herangezogen, sodass eine statistisch zuverlässige Grundgesamtheit erreicht wird, bei der zufällige Schwankungen in einzelnen Jahren ausgeglichen werden.

Ausgewertet wird die Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in verschiedenen Technologiebereichen. Aus ihrem zeitlichen Verlauf lassen sich Rückschlüsse auf die Innovationsdynamik ziehen. In einer vergleichenden Analyse können stagnierende und dynamische

³ PCT = Patent Cooperation Treaty. Dies ist ein internationaler Vertrag, wonach Anmelder über ein vereinfachtes Verfahren einen Anmeldeprozess starten können, der (im Allgemeinen) auf mehrere ausländische Patentämter und damit internationale Märkte ausgerichtet ist. Für nähere Informationen siehe bspw. <http://www.wipo.int/treaties/en/registration/pct/>.

Technologiebereiche differenziert werden. Dabei werden die Patentanmeldungen aller Länder insgesamt sowie die einzelner Länder betrachtet, so dass auch regionale Muster erkennbar werden und internationale Vergleiche möglich sind. Die Auswahl der betrachteten Länder fokussiert sich auf wichtige Wettbewerber Deutschlands im internationalen Kontext. Dabei sind die EU und einzelne OECD-Mitglieder besonders bedeutsam. Zusätzlich werden fallweise Ergebnisse für China berichtet. Es steht hier stellvertretend für „Emerging Economies“, die gerade im Hinblick auf Fragen der Rohstoffversorgung und -effizienz eine immer wichtigere Rolle spielen.

2.2 Übersicht über die abgebildeten Technikbereiche

Um Innovationsaktivität in bestimmten Technologiefeldern messen zu können, werden technologiespezifische Patentsuchstrategien verwendet. Für die Erarbeitung der Patentindikatoren kann auf verschiedene Vorarbeiten des Fraunhofer ISI zurückgegriffen werden [3; 6 - 8]. Für die Abbildung der hier relevanten Technologiebereiche wurden jedoch zusätzliche Recherchestrategien neu definiert und bestehende Recherchen angepasst. Dafür ist ein eingehendes Wissen um die technischen Hintergründe notwendig, das an dieser Stelle von verschiedenen Experten des Fraunhofer ISI eingebracht wird.

Grundsätzlich gibt es für den effizienten Umgang mit Rohstoffen verschiedene Herangehensweisen.⁴ Diese lassen sich nach den unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus eines Produktes unterscheiden. In der Produktionsphase stehen *Materialeinsparungen* bei Design und Herstellung der Verbrauchs-, aber auch Investitionsgüter im Vordergrund, die den Materialeinsatz für jede hergestellte Gütereinheit reduzieren. Da es letzten Endes aber nicht um das Gut selbst, sondern den von ihm gespendeten Nutzen geht, spielt auch die *Langlebigkeit* eines Gutes eine wichtige Rolle: Güter, die während einer gegebenen Nutzungsperiode mehrfach durch neue ersetzt werden müssen, erfordern für ihre Herstellung einen größeren Rohstoffeinsatz als Güter, die bei vergleichbarem spezifischem Rohstoffeinsatz in diesem Zeitraum nicht ersetzt werden. Schließlich stellt sich die Frage, was mit den verwendeten Materialien nach Beendigung der Nutzungsphase geschieht. Werden diese als Rohstoffe erneut in die Produktion neuer Güter eingeschleust, d. h. *recycelt*, dann erübrigt sich im gleichen Umfang der Einsatz „frischer“ Rohstoffe, deren Vorkommen durch den Einsatz rohstoffeffizienter Technologien geschont werden sollen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es zwischen den verschiedenen Ansätzen durchaus zu Konflikten kommen kann. So kann das Streben nach Materialeinsparungen die Langlebigkeit beeinträchtigen oder die Nutzung von komplexen Werkstoffen zur Erhöhung der Langlebigkeit das Recycling der

4 Für einen Überblick s. auch [9].

Rohstoffe erschweren. Zu beachten ist auch, dass das Recycling eines Rohstoffs zwar die geologischen Vorkommen dieses Stoffes schont, in der Regel aber selbst den Verbrauch von – vor allem energetischen – Ressourcen nach sich zieht.

2.2.1 Materialeinsparung

Aus technischer Perspektive lässt sich die Einsparung von Rohstoffen in verschiedene Teilaspekte aufgliedern, die sich auf unterschiedliche Produktionsinputs beziehen. Im *Leichtbau*, der sich unmittelbar auf das fertige Produkt bezieht, werden Materialeinsparungen dadurch erzielt, dass besonders leichte Materialien (z. B. Magnesium, teilweise Aluminium) zum Einsatz kommen und die Formgebung sich unmittelbar an den Stabilitätsanforderungen orientiert, d. h. Werkstücke oder Bauelemente besonders dünn oder in gitter- oder netzartiger Bauweise ausgeführt werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei Bewehrungen (bei Beton) und andere Materialverbünde, wobei letztere vor allem im Kontext der Langlebigkeit untersucht werden. Die Materialeinsparungen können unmittelbar auftreten, weil wegen reduzierter Dimensionierung weniger vom jeweiligen Material verbraucht wird, oder indirekter Natur sein, weil bspw. durch den Leichtbau von Fahrzeugen der Energieeinsatz gesenkt wird.

Dies leitet zur Materialeinsparung durch *Einsparung von Betriebsmitteln* über. Im Bereich der Oberflächenbeschichtung geht es hier um die Vorbehandlung der Oberfläche, den lösemittelarmen oder -freien Auftrag des Beschichtungsmaterials (Bsp.: Pulverbeschichtung) sowie die möglichst vollständige Nutzung des Beschichtungsmaterials selbst (z. B. durch Einsatz eines elektrischen Feldes). Wasser und wässrige Lösungen können in großem Umfang durch den Einsatz von Oberflächen mit niedrigen Reibungs- oder Adhäsionskoeffizienten (z. B. Lotus-Effekt) eingespart werden. Schließlich lässt sich durch neue Verfahren der Formgebung bei Metallen (vor allem Stahl) und Keramik der Energieverbrauch und der Einsatz von Rohstoffen senken.

Durch eine bessere Kontrolle der Materialqualität und der Verarbeitungsprozesse lässt sich außerdem die Ausschussquote und damit der Materialverbrauch senken. Gleiches gilt für die Verwendung von Katalysatoren in der chemischen Verfahrenstechnik. Beide letztgenannten Ansätze können unter dem Begriff der *abfallärmeren Produktion* zusammengefasst werden. Energie- und rohstoffeffizientere Formgebungsverfahren sowie die abfallärmere Produktion sind in mehreren Projekten des r^2 -Förderschwerpunkts repräsentiert.

2.2.2 Langlebigkeit

Langlebigkeit lässt sich erzielen durch eine *Erhöhung der Stabilität*, die die Funktion über einen längeren Zeitraum sicher stellt, durch *Oberflächenbehandlungen*, die ein Gut vor negativen Einflüssen von außen schützen, sowie durch neue *Reparaturverfahren*, die die Nutzungsdauer

verlängern. Bei der Erhöhung der Stabilität spielen, wie im Kontext der Materialeinsparung, Verbundwerkstoffe eine Rolle, wobei hier vor allem Verbünde aus Kunststoffen, Glas, Metallen und keramischen Massen sowie die Verfahren zu ihrer Herstellung betrachtet werden. Den gleichen Zweck verfolgt das Härten von Metallen.

Metall-, Kunststoff- und andere Beschichtungen schützen Werkstoffe vor äußeren Einflüssen meist chemischer Art (Witterung, chemische Anlagen); sie können aber auch Schutz gegen den Einfluss von Mikroorganismen (Biozide) oder gegen physikalische Einwirkungen (z. B. Flammschutz) bieten. Bei den Reparaturverfahren sei schließlich das Auftragsschweißen zur Reparatur von Schiffs- und Turbinenschrauben exemplarisch herausgegriffen.

Keines der Projekte des r²-Förderschwerpunkts beschäftigt sich mit Aspekten der Langlebigkeit als Beitrag zur Materialeffizienz, weil die r²-Projekte rohstoffnah sind, wogegen sich Langlebigkeit eher auf die Produkte beziehen, die das andere Ende der Wertschöpfungskette repräsentieren.

2.2.3 Recycling

Beim Recycling werden zwei wesentliche Aspekte unterschieden. Einerseits die Zerlegung von Gütern bzw. Produkten am Ende ihrer Nutzungszeit und die (Vor)Sortierung ihrer Bestandteile entsprechend der Materialzusammensetzung. Dazu zählen Verfahren der Zerkleinerung und Sortierung, aber auch der Stofftrennung allgemein, soweit sie der Wiederaufbereitung industrieller Betriebsstoffe dienen (Bsp. Membranfiltration). Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die rechnergesteuerte Prozessregelung, die die Steuerung und Überwachung auch komplexer Trennungsprozesse erlaubt. Hier laufen im r²-Förderschwerpunkt Vorhaben in den Bereichen Membranfiltration sowie rechnergesteuerte Prozessregelung.

Andererseits geht es um spezifische Verfahren zur Wiedergewinnung und Verarbeitung bestimmter Materialien⁵. Beispiele sind hier die elektrochemische und metallurgische Trennung verschiedener Metalle, die Wiedergewinnung von Kunststoffen aus Altmaterialien und ihre Verwendung für die Herstellung neuer Produkte. Im Bereich der mineralischen Rohstoffe stehen das Recycling von Phosphat bzw. Düngemitteln aus Schlacken, Abwasser und tierischen Abfällen sowie die Wiedergewinnung von Baustoffen aus dem Abraum abgerissener Gebäude im Fokus des Interesses. Der r²-Förderschwerpunkt ist hier prominent vertreten und liefert mit Ausnahme des Kunststoff- und Papierrecyclings Beiträge zu allen genannten Teilaspekten.

⁵ Gegenüber der Studie zu grünen Zukunftsmärkten [3] wurden insbesondere diese materialbezogenen Recyclingansätze neu in die Abgrenzung des Technologiebereichs „Recycling“ aufgenommen. Dies führt zu deutlichen Verschiebungen in den länderspezifischen Ergebnissen (vor allem beim Patentanteil der USA).

3 Deutsche und globale Innovationsdynamik im Vergleich

Ein erster grundlegender Vergleich des Verlaufs der technologischen Entwicklung in verschiedenen Teilbereichen der Ressourceneffizienz (in Abbildung 1) zeigt, dass zwei Bereiche, die Langlebigkeit und die Materialeinsparung, eine Dynamik aufweisen, die derjenigen der Patentanmeldungen insgesamt sehr ähnlich ist. Während in der Entwicklung aller Patentanmeldungen am Ende des Zeitraums 1991 bis 2006 ein Index von 291 erreicht wurde, liegen die Indizes in den genannten Technikbereichen sowohl für Deutschland als auch global im Bereich 300 bis 350. Aus dem aktuellen Vorsprung Deutschlands im Bereich der Materialeinsparung auf eine überlegene technologische Leistungsfähigkeit zu schließen, erscheint nicht gerechtfertigt, da die Zahlen deutlichen Schwankungen unterliegen und die Entwicklung über weite Strecken leicht unterhalb der Gesamtentwicklung verlief.

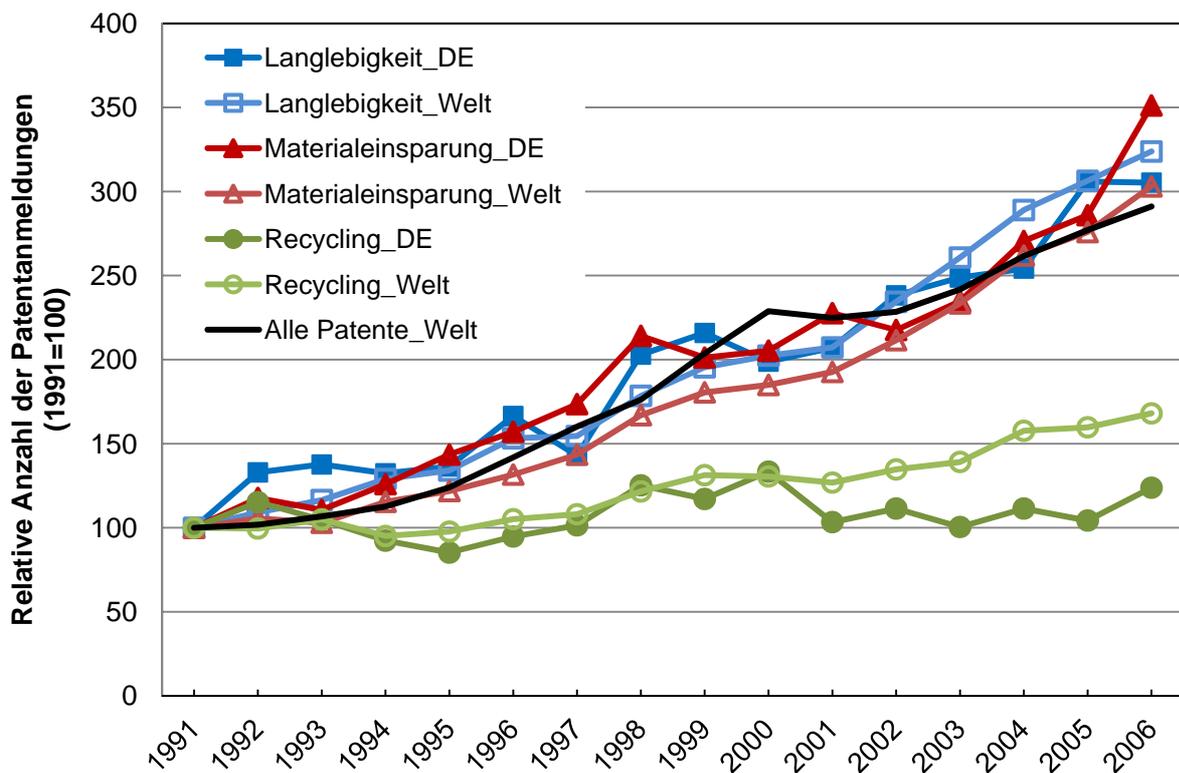


Abbildung 1: Vergleich der Dynamik der Patentanmeldungen in verschiedenen Bereichen der Ressourceneffizienz für Deutschland und global im Zeitraum 1991 bis 2006 (eigene Erhebung)

Deutlich schlechter stellt sich demgegenüber die Dynamik im Bereich Recycling dar, wobei zwischen der deutschen und der globalen Entwicklung bis zum Jahr 2000 kein nennenswerter Unterschied besteht. Danach fällt Deutschland etwas ab, wodurch sich im Jahr 2006 für Deutschland und die Welt Indizes von 124 bzw. 168 ergeben. Bereits in einer Vorstudie [3] war

aufgefallen, dass die Abfallwirtschaft⁶ hinter der allgemeinen Dynamik zurück bleibt, was u. a. damit erklärt wurde, dass sie insgesamt ein eher reifes Feld mit Phänomenen der Marktsättigung darstellt. Allerdings berücksichtigt diese Argumentation nicht, dass seit den 1990er Jahren große Anstrengungen zur Erhöhung der Recyclingquote für eine große Zahl von Materialien unternommen wurden. Die Gründe für die geringe Dynamik sind deshalb insgesamt noch etwas unklar. Offen ist außerdem die Frage, ob sich die Dynamik angesichts eines steigenden Marktdrucks zur Sicherung der Rohstoffversorgung in jüngster Zeit wieder erhöht hat oder dies in naher Zukunft geschehen wird.

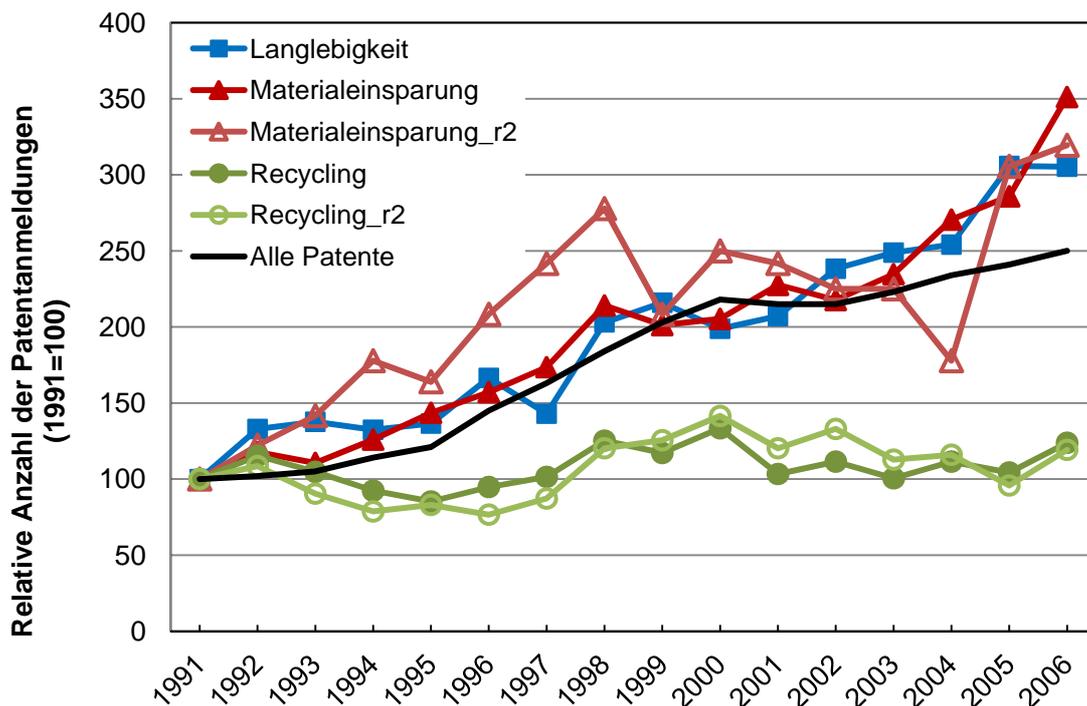


Abbildung 2: Vergleich der Dynamik der Patentanmeldungen in verschiedenen Bereichen der Rohstoffeffizienz für Deutschland insgesamt und in rohstoffnahen Industriesektoren (r²-Forschungsvorhaben) im Zeitraum 1991 bis 2006 (eigene Erhebung)

Fokussiert man vom Technikbereich Ressourceneffizienz im Allgemeinen weiter auf die rohstoffintensiven Branchen, wie sie im r²-Förderschwerpunkt vorherrschen, so zeigt sich (in Abbildung 2), dass von stärkeren Schwankungen abgesehen hinsichtlich der Gesamtentwicklung keine nennenswerten Unterschiede bestehen. Auffällig ist beim Vergleich der Abbildungen 1 und 2 allerdings, dass die Entwicklung aller Patentanmeldungen in Deutschland etwas schwächer ausfällt als weltweit (250 gegenüber 291), wodurch Langlebigkeit und Materialeinsparung im deutschen Kontext doch eine überdurchschnittliche Dynamik aufweisen.

⁶ In Walz et al. 2008 [3] wird Recycling unter Abfallwirtschaft subsumiert. Die Abgrenzung wurde für den vorliegenden Beitrag aktualisiert.

4 Innovationsdynamik und Spezialisierungsmuster im Ländervergleich

Die folgenden Betrachtungen vergleichen die Entwicklung in verschiedenen Ländern bzw. Weltregionen. Für den expliziten Vergleich wurden neben Deutschland (DE) und der übrigen EU zwei weitere wichtige OECD-Länder, nämlich USA (US) und Japan (JP), ausgewählt. Auch die Entwicklung in China (CN) wurde separat betrachtet, ist allerdings aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in jede Graphike integriert. Nach dieser Auswahl verbleibt ein sehr heterogener „Rest der Welt“ (RdW), der neben anderen großen OECD-Ländern (z. B. Kanada, Australien, Korea, Mexiko) auch Russland sowie Schwellen- und Entwicklungsländer enthält. In Folgearbeiten ist vorgesehen, diesen „Rest der Welt“ noch weiter aufzuschlüsseln.

Im Vergleich mit anderen Wirtschaftsregionen ergibt sich hinsichtlich der Innovationsdynamik für Deutschland kein eindeutiges Bild. In den Technologiefeldern Materialeinsparung (vgl. Abbildung 3) und Langlebigkeit liegt Deutschland am oberen Rand einer Entwicklung, die sich im Vergleich der Regionen EU (ohne Deutschland), den USA und Japan bis zum Anfang dieses Jahrtausends aber nicht stark unterscheidet. Erst in jüngerer Zeit deutet sich an, dass Japan und Deutschland (nur Materialeinsparung) sich etwas vom Rest der EU und vor allem den USA absetzen können.

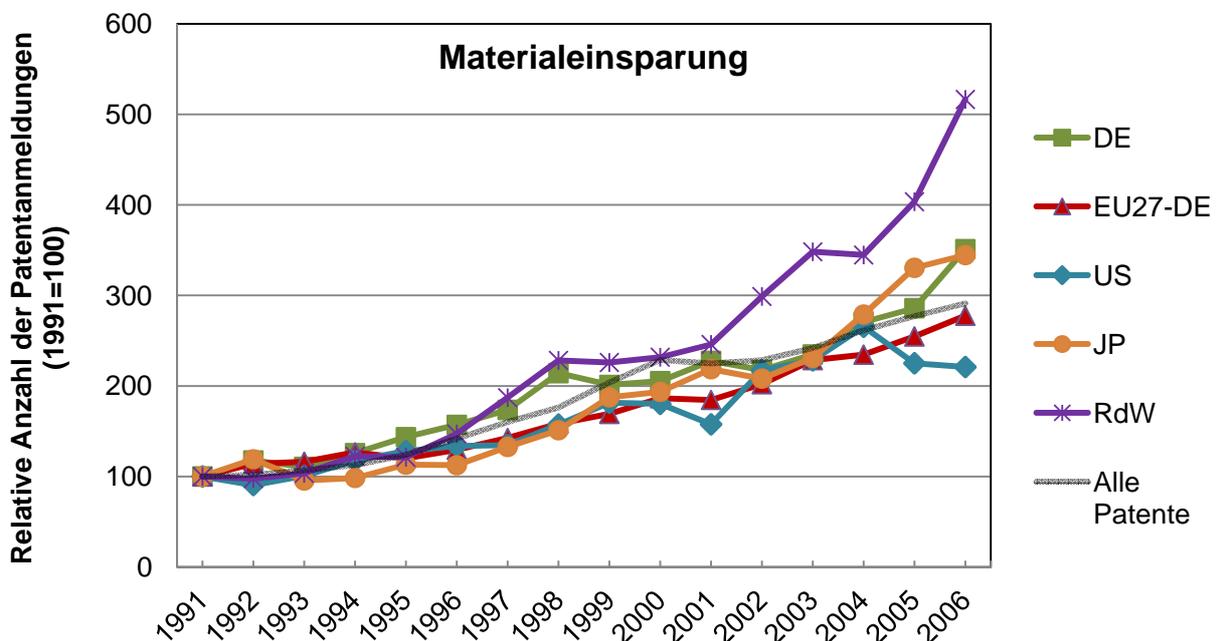


Abbildung 3: Veränderung der Zahl der Patentanmeldungen in wichtigen Wirtschaftsregionen im Zeitraum 1991 bis 2006 (1991=100; eigene Erhebung)

Eine besondere Stellung nimmt der RdW ein, dessen Dynamik vor allem seit dem Ende der 1990er Jahre deutlich stärker ist als die der anderen abgebildeten Nationen. Dabei ist einzuschränken, dass

diese Entwicklung zu Beginn des Betrachtungszeitraums von einer deutlich niedrigeren absoluten Zahl von Patenten ausgeht. Immerhin beträgt aber der Patentanteil des RdW aktuell (d. h. im Zeitraum 2003 bis 2006) mehr als 10 Prozent (vgl. Abbildung 5). Diese Entwicklung kann mit der Entwicklung in China nur teilweise erklärt werden, denn China macht am RdW über weite Strecken in beiden Technikfeldern deutlich weniger als ein Zehntel und erst in den letzten beiden Jahren etwas mehr als 10 Prozent aus. Aus parallel laufenden Arbeiten im Forschungsprojekt ISI-CUP⁷ ergeben sich Hinweise darauf, dass die Region Südostasien (insbesondere Korea, aber auch Länder wie Malaysia, Singapur oder Taiwan) hier ein wichtiger Treiber ist. Aber auch in anderen OECD-Staaten wie Kanada, Mexiko und der Türkei ist die Dynamik in ähnlichen Technologiefeldern hoch. In weiteren Analysen wird dies näher zu beleuchten sein.

Wie in Kapitel 3 (Abbildung 1) schon angedeutet, bleibt die Innovationsdynamik im Technikfeld Recycling in fast allen Regionen deutlich hinter der allgemeinen Entwicklung der Patentanmeldungen zurück (vgl. Abbildung 4). Deutschland, die EU und die USA liegen dicht beisammen, wobei Deutschland seit dem Jahr 2000 das Schlusslicht darstellt. Das einzige explizit abgebildete Land, das sich von der Innovationsdynamik her deutlich positiv abhebt, ist Japan, dessen Entwicklung nicht weit hinter der allgemeinen Entwicklung zurückbleibt. Auch in diesem Technikfeld verläuft die Innovationsdynamik im RdW deutlich dynamischer als in der EU, den

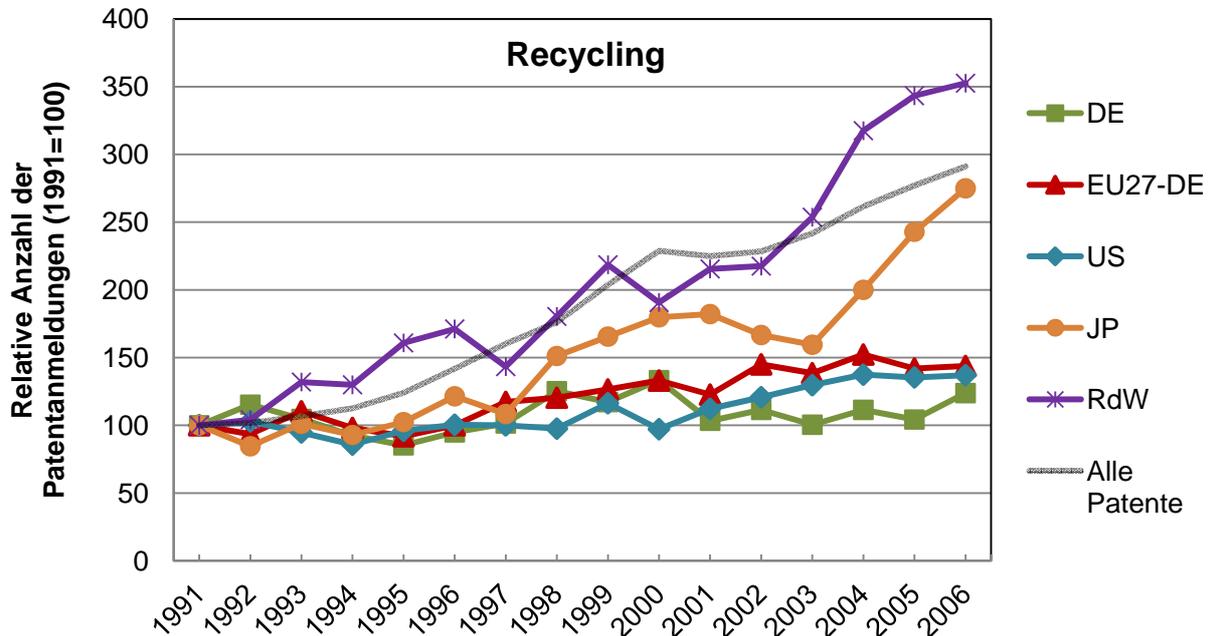


Abbildung 4: Veränderung der Zahl der Patentanmeldungen in wichtigen Wirtschaftsregionen im Zeitraum 1991 bis 2006 (1991=100; eigene Erhebung)

⁷ Das Projekt ISI-CUP („Integration von Sustainability-Innovationen in den Catching-Up Prozess“) wird vom BMBF im Förderschwerpunkt „Wirtschaftswissenschaften für Nachhaltigkeit“ unter dem Förderkennzeichen 07WIN15A gefördert (s. auch www.isi.fhg.de/n/Projekte/ISICUP.html).

USA und Japan und dynamischer auch als der Anstieg der Patentanmeldungen im Allgemeinen. Die Dynamik im Technikfeld Recycling ist zwar nicht so groß wie im Technikfeld Materialeinsparung (353 gegenüber 516 im Jahr 2006). Dennoch wird, wie aus Abbildung 5 ersichtlich, im Zeitraum 2003 bis 2006 vom RdW ein Patentanteil von mehr als 20 Prozent erreicht. Daraus kann geschlossen werden, dass der RdW in diesem Technikbereich schon deutlich weiter entwickelt ist als bei Materialeinsparung und Langlebigkeit. Ebenso wie in den anderen Technikfeldern konnte China auch in diesem Fall erst in jüngster Zeit seinen Anteil am RdW auf über 10 Prozent steigern. Grundsätzlich ist es nicht einfach, von der Dynamik bei den Patentanmeldungen auf die technologische Leistungsfähigkeit bestimmter Wirtschaftsbereiche, Technologiefelder oder Länder zu schließen. Ein Grund dafür besteht darin, dass in verschiedenen Wirtschaftsbereichen und Ländern sehr unterschiedliche Neigungen oder Potenziale bestehen können, Innovationen durch Patente zu schützen. Oftmals stellt sich aus Unternehmenssicht die Frage, ob sich Know-how auch mit weniger finanziellem Aufwand oder ohne Offenlegung des gesamten Know-hows schützen lässt. Aus dieser Perspektive heraus ist die Aussagekraft von Vergleichen der Patentdynamik über Branchen- und Ländergrenzen gewissen Einschränkungen unterworfen.

Ein weiteres Problem beim Vergleich von Dynamiken besteht darin, dass ein Anstieg von Indizes alleine noch keinen Rückschluss auf die absoluten Mengenverhältnisse zulässt. Aus diesem Grund sind in Abbildung 5 die Relationen zwischen den Patentanmeldungen verschiedener Wirtschaftsregionen in jüngerer Zeit (2003 bis 2006) dargestellt. Der Zeitraum von 4 Jahren wurde

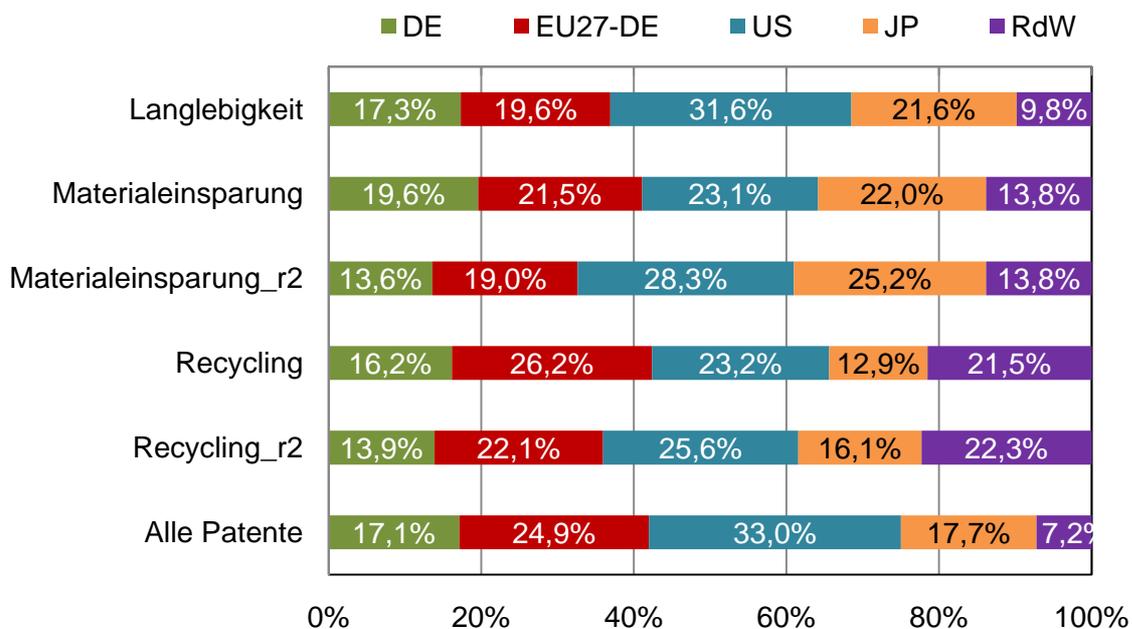


Abbildung 5: Patentanteile (in %) wichtiger Wirtschaftsregionen in verschiedenen Teilbereichen der Ressourceneffizienz im Zeitraum 2003 bis 2006 (eigene Erhebung)

dabei gewählt, um zeitliche Schwankungen auszugleichen und ein verlässlicheres Bild der relativen Stellung der ausgewählten Länder oder Regionen zu bekommen.

Dabei zeigt sich, dass der Anteil der USA an den Patentanmeldungen in den meisten Technikfeldern (außer Recycling) am größten ist, die EU27 ohne Deutschland beim Recycling am stärksten ist, und Japan bei Materialeinsparung und Langlebigkeit den zweiten Platz einnimmt. Eine erstaunlich starke Position belegt der „Rest der Welt“ beim Recycling. Dies überrascht umso mehr, als der Patentanteile hier – wie auch in den anderen spezifischen Technikfeldern – deutlich über dem Anteil an der Gesamtheit aller Patente liegt. Der „Rest der Welt“ kann sich auf dieser Grundlage in allen betrachteten Technikfeldern profilieren. Japan wird im Bereich Langlebigkeit und Materialeinsparung zum Spitzenreiter unter den explizit ausgewiesenen Ländern oder Regionen (ohne RdW), und die EU (ohne Deutschland) behält ihre starke Position beim Recycling. Deutschland nimmt zwar in keinem Bereich die Spitzenposition ein, liegt aber bei Langlebigkeit und Materialeinsparung über seinem Anteil an allen Patenten.

Ein Vergleich der Patentanmeldungen in den rohstoffintensiven Branchen (Materialeinsparung_r2 und Recycling_r2) mit denen der entsprechenden Technologiebereiche im Allgemeinen (Material-einsparung und Recycling) zeigt für Deutschland und die EU jeweils geringere Anteile für die rohstoffintensiven Bereiche, wogegen die USA und Japan dort – zum Teil deutlich – höhere Anteile aufweisen.

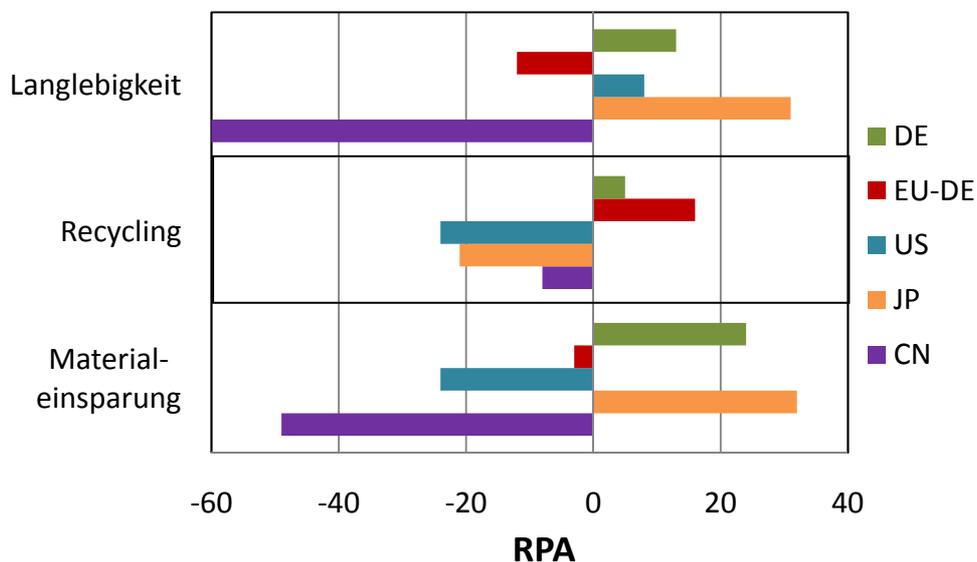


Abbildung 6: Patentspezialisierung (gemessen als RPA) wichtiger Wirtschaftsregionen in Teilbereichen der Ressourceneffizienz im Zeitraum 2003 bis 2006 (eigene Erhebung)

Um den Effekt der Größe der jeweiligen Volkswirtschaft gänzlich auszublenden, untersuchen wir schließlich noch den Grad der Spezialisierung der verschiedenen Länder und Wirtschaftsregionen in den verschiedenen Technikbereichen. Als Indikator für die Spezialisierung wird der RPA (Relative

Patent Advantage) verwendet, der den Grad der Spezialisierung auf einer Skala von -100 (keine Anmeldungen in diesem Bereich) über 0 (Anteil der Anmeldungen eines Landes an allen Patenten im betrachteten Technikbereich entspricht exakt seinem Anteil an der – über alle Technikfelder gebildeten - Summe aller Patenten) bis +100 (vollständige Spezialisierung auf diesen Bereich) wiedergibt. Oberhalb eines RPA von 20 kann i. d. R. von einer signifikanten Spezialisierung gesprochen werden. Wie die Abbildung 6 zeigt, liegt eine signifikante Spezialisierung nur in drei Fällen vor: Japan im Bereich der Langlebigkeit und Deutschland sowie Japan im Bereich der Materialeinsparung. Würde die Schwelle für die Signifikanz der Spezialisierung niedriger angesetzt ($RPA > 10$), dann ergäbe sich zusätzlich eine Spezialisierung Deutschlands im Bereich der Langlebigkeit und des Restes der EU (ohne Deutschland) im Bereich des Recyclings. Auffällig ist auch die ausgesprochen geringe Aktivität Chinas im Technikfeld Langlebigkeit, der USA im Technikfeld Recycling und beider Länder im Bereich Materialeinsparung.

5 Fazit und Ausblick

In einer Gesamtbetrachtung der Teilbereiche der Ressourceneffizienz entwickelt sich die technische Wissensbasis weltweit auf diesem Gebiet im Vergleich zur allgemeinen Entwicklung unterdurchschnittlich schnell. Die Frage ist, ob der zunehmende Druck auf die Rohstoffversorgung (durch wachsende Nachfrage etc.) hier eine Beschleunigung bewirkt und damit autonome Marktkräfte zur Entschärfung von Rohstoffsicherheitsfragen führen. Für die Politik gilt zu klären, ob sich eine solche Beschleunigung politisch und gesellschaftlich fördern lässt und in welchem Ausmaß dies ergänzend zu den Marktmechanismen geboten erscheint. Vielversprechend erscheint ein Anknüpfen an die dynamischeren technischen Teilbereiche, weltweit betrachtet insbesondere an Strategien der Langlebigkeit und Materialeinsparung. Darüber hinaus ist eine genauere Analyse der führenden dynamischen Länder essentiell. Auch Länder mit aktuell negativen Spezialisierungsindizes wie China könnten auf Grund der beobachteten schnellen Zunahme ihrer Patentanmeldungen diese Nachteile in naher Zukunft ausgleichen. So hat sich Chinas Spezialisierungsindex in den Bereichen Langlebigkeit und Recycling im Vergleich zum Zeitraum 1999-2002 bereits gesteigert.

Für Deutschland kann die Entwicklung der Wissensbasis wenigstens im Technikfeld „Materialeinsparung“ mit der allgemeinen Entwicklung Schritt halten. Im r^2 -nahen, rohstoffintensiven Bereich ist die Entwicklung besonders dynamisch. Im nächsten Schritt sollten die Erfolgsfaktoren dafür identifiziert werden, um sie für eine Beschleunigung der Entwicklung der Wissensbasis zu nutzen. Besonderer Handlungsbedarf besteht der Patententwicklung zufolge im

Bereich Recycling. Hier ist mit dem r²-Förderschwerpunkt des BMBF schon ein wichtiger Schritt zur Steigerung der Innovationsaktivität unternommen worden. Nun gilt es, weitere Ansatzpunkte zu identifizieren, wie das „Innovationssystem Ressourceneffizienz“ verbessert werden kann.

6 Literatur

- [1] G. Angerer, L. Erdmann, F. Marscheider-Weidemann, M. Scharp, A. Lüllmann, V. Handke und M. Marwede, *Rohstoffe für Zukunftstechnologien*, Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [2] M. Frondel, G. Angerer, C. Sartorius, D. Huchtemann, P. Grösche, a. Oberheitmann, J. Peters, P. Buchholz, S. Röhling und M. Wagner, *Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen*, Endbericht, Essen, Karlsruhe, Hannover: RWI Essen; Fraunhofer ISI; BGR, 2007.
- [3] R. Walz, K. Ostertag, K. Fichter, S. Beucker, K. Doll und W. Eichhammer, *Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten*, Dessau: Umweltbundesamt, 2008.
- [4] T. Hirth, J. Woidasky und P. Eyerer, *Nachhaltige rohstoffnahe Produktion*, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2007.
- [5] H. Grupp, *Messung und Erklärung des technischen Wandels. Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik.*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997.
- [6] D. Edler, J. Blazejczak, R. Walz, K. Ostertag, W. Eichhammer, G. Angerer, C. Sartorius und K. Doll, *Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation*, Dessau: Umweltbundesamt, 2007.
- [7] H. Legler, O. Krawczyk, R. Walz, W. Eichhammer und R. Frietsch, *Wirtschaftsfaktor Umwelt, Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich*, Dessau (Texte 16/06): Umweltbundesamt, 2006.
- [8] H. Legler, O. Krawczyk, C. Rammer, H. Löhlein und R. Frietsch, *Zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltschutzwirtschaft im internationalen Vergleich.*, Berlin: BMBF, 2007.
- [9] J. Jörisen, J. Schippl, C. Dieckhoff, N. Gronwald, A. Grunwald, N. Hartlieb, U. Mielicke, O. Parodi, T. Reinhardt und V. Stelzer, *Roadmap Umwelttechnologien 2020, State-of-the-Art-Report (Kurzfassung)*, Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, 2008.