

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Internationale technologische Leistungsfähigkeit in den r^3 relevanten Bereichen anhand von Patentindikatoren



Arbeitspapier im Rahmen des r^3 -Integrations- und Transferprojektes

Christian SARTORIUS
Luis TERCERO ESPINOZA

Dezember 2015

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R070 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Kontakt

Dr. Dr. Christian Sartorius

c.sartorius@isi.fraunhofer.de

Tel. +49 721 6809-118

Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

Breslauer Str. 48, D-76139 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Einleitung	4
2	Methoden	6
2.1	Datenbasis	6
2.2	Verwendete Indikatoren.....	7
2.3	Festlegung der Technikbereiche.....	8
3	Ergebnisse	11
3.1	Innovationsdynamik.....	11
3.2	Patentanteile	13
3.3	Patentspezialisierung	17
4	Schlussfolgerungen	20
5	Literaturverzeichnis	21

1 Hintergrund und Einleitung

Das Integrations- und Transferprojekt INTRA r^3+ flankiert die F&E-Arbeiten im Förderschwerpunkt r^3 "Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien" mit Maßnahmen zur Koordination und Vernetzung innerhalb des Förderschwerpunktes sowie zur Bündelung und Transfer der von den Verbundprojekten erzielten Ergebnissen (Dürkoop et al. 2012). Darüber hinaus ist die Bearbeitung von branchen- und technologieübergreifenden Querschnittsfragen zur Stärkung der Fördermaßnahme eine wichtige Aufgabe in INTRA r^3+ (BMBF 2010). Die Arbeiten hierzu wurden in dem Arbeitspaket „Potenzialanalyse“ gebündelt, der eine übergreifende Bewertung der F&E-Arbeiten im Förderschwerpunkt r^3 anstrebt sowie notwendige Kontextinformationen zur Positionierung sowohl der einzelnen Fördernehmer sowie des BMBF im internationalen Parkett liefert. Einen Überblick über die Arbeiten im Arbeitspaket „Potenzialanalyse“ zusammen mit den beteiligten Projektpartnern ist in Abbildung 1 gegeben.

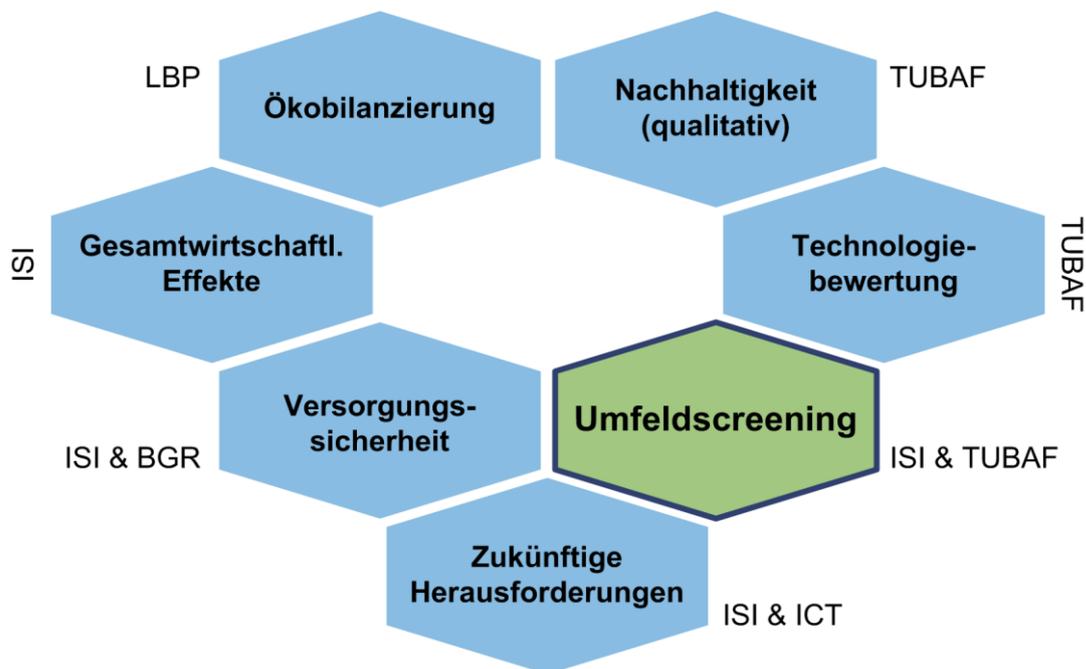


Abbildung 1: Screening des internationalen Umfelds in dem Kontext der Begleitforschung zum Förderschwerpunkt r^3 . Partner im Arbeitspaket „Potenzialanalyse“ sind neben dem Fraunhofer ISI die Technische Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF), die Universität Stuttgart mit dem Lehrstuhl für Bauphysik (LBP), die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT.

Unter dem Bereich „Umfeldscreening“ fallen Arbeiten sowohl zur Identifikation und Vernetzung mit verwandten nationalen und internationalen Förderinitiativen als auch zur Charakterisierung der Arbeitsfelder im Förderschwerpunkt r^3 hinsichtlich der wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen anhand von wissenschaftlichen Publikationen und Patentindikatoren. Die Ergebnisse des Screenings wissenschaftlicher Publikationen wurden den einzelnen Verbänden in verbundspezifische Monitoringberichte mitgeteilt (z. B. Fraunhofer ISI 2015). Die in diesem Bericht vorgestellten Arbeiten basieren auf eine Analyse der Patentanmeldungen und zielen darauf, den breiteren technologischen Kontext der r^3 -Verbünde zu beleuchten und die Innovationsdynamik national und international aufzuzeigen. Die Analyse baut auf den Patentrecherchen des r^2 -Integrations- und Transferprojekts auf (vgl. Ostertag et al. 2010).

2 Methoden

Die Analyse der Wettbewerbsfähigkeit fußt auf der Erkenntnis, dass der Wettbewerb im Bereich höherwertiger Güter stark durch Qualitätsmerkmale bedingt ist. Damit werden die Wissensbasis einer Volkswirtschaft sowie ihre Fähigkeit, Wissen in Produkte umzusetzen und diese zu vermarkten, zu wichtigen Voraussetzungen künftigen wirtschaftlichen Erfolgs. Da diese Fähigkeiten nicht direkt messbar sind, müssen Indikatoren identifiziert werden, die sie zumindest näherungsweise beschreiben. Im Rahmen der periodischen »Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit« an das BMBF hat sich eine Methodik durchgesetzt, die sich auf Indikatoren aus verschiedenen Teilbereichen des Innovationsprozesses stützt (Grupp 1997). In Anlehnung an diese Vorgehensweise werden in diesem Bericht Patente als FuE-relevante, intermediäre Indikatoren herangezogen, die gleichzeitig als Frühindikator für die zukünftige technische Entwicklung und damit die Wettbewerbsfähigkeit in der Zukunft dient.

Methodisch besteht die größte Herausforderung bei der Erhebung der Indikatoren darin, die Merkmale zu identifizieren, anhand derer relevante, d. h. die Einsparung kritischer Rohstoffe betreffende Patentanmeldungen erfasst und ausgewertet werden können. Die Auswahl der Patente stützt sich auf die Internationale Patentklassifikation (engl. IPC), welche die den Patenten zugrunde liegenden Innovationen nach ihren jeweiligen funktionellen Eigenschaften ordnet. Da in den meisten Fällen bekannt ist, wie ein innovatives Verfahren funktioniert und was es leisten muss, um einen Beitrag zur Einsparung kritischer Rohstoffe zu leisten, ist eine Zuordnung zu einer oder mehreren IPC-Kategorien mit den entsprechenden technischen Kenntnissen durchaus möglich.

2.1 Datenbasis

Für den angestrebten internationalen Vergleich der technologischen Leistungsfähigkeit im Bereich der Einsparung kritischer Rohstoffe wird auf methodische Erfahrungen aus früheren Arbeiten des Fraunhofer ISI (Walz et al. 2008) zurückgegriffen. Die Patentrecherchen knüpfen vorrangig bei den Patentanmeldungen über das PCT-Verfahren (gemäß Patent Cooperation Treaty) an, mit dem Anmeldungen bei der World Intellectual Property Organisation (WIPO) hinterlegt werden können und damit gleichzeitig in allen Vertragsstaaten wirksam werden. Da dieses Anmeldeverfahren erst in jüngerer Zeit an Beliebtheit gewonnen hat und es weitere Möglichkeiten für internationale Anmeldungen von Patenten gibt, werden außerdem Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt hinzugerechnet, wobei Doppelzählungen identischer Meldungen ausgeschlossen werden. Damit zielt diese Methode zur Abbildung der internationalen Patente nicht auf einzelne Märkte wie Europa ab, sondern weist einen stärker transnationalen Charakter auf. Die Anmeldungen werden den Ländern entsprechend dem

Wohnort der Erfinder zugeordnet, was erfahrungsgemäß Verzerrungen minimiert. Als Datenbank für die Erfassung der Patentdaten dient PATSTAT (EPO 2015). Der Beobachtungszeitraum umfasst die Entwicklung seit 1991 und reicht bis 2012, dem jüngsten Anmeldungsjahr, für das zum Zeitpunkt der Datenerhebung (November 2015) von einer vollständigen Erfassung aller Anmeldungen ausgegangen werden kann. Gegebenenfalls werden für Querschnittsvergleiche die Durchschnittswerte mehrerer Jahre herangezogen, sodass vor allem bei Technikbereichen mit einer geringen Anzahl von Patentanmeldungen eine statistisch zuverlässige Grundgesamtheit erreicht wird, bei der sich zufällige Schwankungen einzelner Jahre ausgleichen.

2.2 Verwendete Indikatoren

Die zeitliche Entwicklung der Patentierungsaktivitäten und der Vergleich mit der allgemeinen Patentdynamik erlauben eine Einschätzung über die Entwicklung der **Innovationsdynamik** und das jeweils erreichte Entwicklungsstadium in den betrachteten Technikbereichen. Dabei umfassen die betrachteten Zeiträume meist mehrere Jahre, um eine ausreichend große, signifikante Datenbasis sicherzustellen und statistisch bedingte Fluktuationen dadurch gering zu halten.

Die Darstellung der Patentierungsaktivitäten einzelner Länder geschieht vorzugsweise mittels ihres Anteils an den entsprechenden weltweiten Aktivitäten und wird als prozentualer **Anteil** dieses Landes an den weltweiten, dem jeweiligen Technikbereich zuzuordnenden **Patentanmeldungen** berechnet.

Sowohl die Patentanteile als auch die Welthandelsanteile werden durch die Größe und das allgemeine Entwicklungsmuster des Landes beeinflusst. Auf Basis dieser Indikatoren treten kleine Länder daher selbst dann kaum in Erscheinung, wenn sie nennenswerte Aktivitäten aufweisen. Zusätzlich ist es daher üblich, eine **Spezialisierungskennziffer** zu bilden, die angibt, welchen Stellenwert die interessierenden Technikbereiche im Verhältnis zum Durchschnitt aller Technologien innerhalb des betrachteten Landes aufweisen. Diese Kennziffer ist der relative Patentanteil RPA, der den Patentanteil des betrachteten Landes i im jeweiligen Technikbereich j in Relation setzt zu den Patentanteilen des gleichen Landes bei allen Patenten und nach folgender Formel berechnet wird:

$$RPA_{ij} = 100 \times \tanh \left\{ \ln \left[\frac{\frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}}}{\frac{\sum_j p_{ij}}{\sum_{ij} p_{ij}}} \right] \right\}$$

Durch die Transformierung der Ausgangszahlen werden die resultierenden Spezialisierungsindikatoren dabei so normiert, dass positive Werte eine über dem globalen Durchschnitt liegende Spezialisierung des untersuchten Landes anzeigen, ein Wert von 0 einer durchschnittlichen Spezialisierung entspricht und negative Zahlen auf eine unterdurchschnittliche Spezialisierung hindeuten. Darüber hinaus ist die Normierung so gestaltet, dass der Indikator zwischen -100 (keine Aktivität in diesem Bereich) und +100 (vollständige Spezialisierung) liegt. Generell deutet ein RPA-Wert größer als 20 auf eine signifikante Spezialisierung hin.

2.3 Festlegung der Technikbereiche

Zur Einsparung kritischer Rohstoffe lassen sich folgende grundlegende Ansätze unterscheiden:

- (1) Steigerung der Effizienz des Rohstoffeinsatzes, d.h. weniger Input für den gleichen Output, im Zuge der Produktion entlang der Wertschöpfungsketten und (sofern dafür Rohstoffe aufgewendet werden) während der Nutzungs- und Nachnutzungsphase,
- (2) Substitution von schwerer verfügbaren Rohstoffen durch andere, leichter zugängliche und
- (3) Wieder- oder Weiterverwendung (auf möglichst hohem Niveau) von Rohstoffen und daraus gewonnen Materialien, die im Zuge der Herstellung oder während und nach dem Gebrauch von Produkten anfallen.

Wenn es darum geht, die Patentkategorien zu bestimmen, die diese Ansätze hinsichtlich ihrer technischen Umsetzung abbilden, muss darauf hingewiesen werden, dass es nicht möglich ist, eine abschließende Aufzählung zu erstellen. Jeder der genannten Ansätze hat das Potenzial in allen Prozessen zur Anwendung zu kommen, in denen die Rohstoffe zum Einsatz kommen. Welche technische Innovation tatsächlich einen Beitrag leisten kann, lässt sich aus der Beschreibung einer Patentkategorie jedoch nicht von vorneherein ablesen, da diese nur die Innovation beschreibt, nicht jedoch den Zustand, der zuvor herrschte und an dem die Innovation ansetzt. Das bedeutet, dass vorhandene, bekannte Beispiele für die Einsparung kritischer Rohstoffe der Ausgangspunkt für die Suche sein müssen. Quellen solcher Beispiele sind zum Beispiel die "Rohstoffe für Zukunftstechnologien" (Angerer et al. 2009) oder "Critical Metals in Strategic Energy Technologies" (Moss et al. 2011). Hinzu kommen Listen von Beispielen bzw. entsprechenden IPCs, die aus den Ausarbeitungen zu früheren Projekten, z.B. zum Begleit- und Transferprojekt zur r^2 -Fördermaßnahme, übernommen werden. Letztlich kommt es aber gar nicht darauf an, dass die Liste relevanter Technikinnovati-

onen bzw. der entsprechenden IPCs vollständig ist. Es geht nämlich nicht darum, die absolute Zahl der in diesem Zusammenhang angemeldeten Patente zu ermitteln. Vielmehr soll ein intertemporaler und ein Vergleich zwischen verschiedenen Ländern oder Regionen angestellt werden, weshalb relative Veränderungen (gegenüber einem Bezugsjahr) oder relative Unterschiede (zwischen Ländern) ausreichen. In der folgenden Tabelle sind die zusammenfassenden Beschreibungen der die verschiedenen Ansätze kennzeichnenden Technikinnovationen aufgeführt.

Tabelle 1: Ansätze zur Einsparung kritischer Rohstoffe und die sie beschreibenden Technikinnovationen.
 Grau unterlegte Felder markieren die Arten von Technikinnovationen, die auch in der Fördermaßnahme r³ repräsentiert sind.

Materialeinsparung	
Leichtbau	Leichte metallische Werkstoffe, z.B. Magnesium
	Kompositwerkstoffe mit verstärkenden Strukturen, z.B. CFK
Konstruktion	Bauelemente von relativ dünner Form für den Bau von Bauwerksteilen
	Bewehrungselemente, z.B. für Beton
	3D-Druck von Werkstücken
Material-effiziente Beschichtung	Beschichten durch Vakuumbedampfung, Aufstäuben, chemische Deposition, Aufbringen von Pulver ...
	... durch Aufsprühen, Anwendung eines elektrischen Feldes, Aufbringen von Partikeln
Oberflächen-effekte	Senkung der Reibungs- oder Adhäsionseffekten (z.B. Selbstreinigung, Lotuseffekt)
	Steigerung der Benetzungsfähigkeit
	Atomare Diffusions- und Oberflächeneffekte
Energieeffizienz	Senkung der Aktivierungsenergie durch Katalysatoren
	Verformung hochschmelzender Legierungen (anstelle von Gießen/ Fräsen)
	Elektrolytische Herstellung von Gasen (z.B. Chlor, Wasserstoff)
Abfallarme Produktion	Verwendung von Katalysatoren zur spezifischen Steuerung von Syntheseverfahren
	Abtragfreie, in-Form-Produktionsverfahren (z.B. Spritzguss)
	Gezielt gesteuerte Trocknung von Erzeugnissen (→ weniger Ausschuss)
Recycling	
Stoffver-einzelung	Zerkleinerung durch Brechen (z.B. in Trommelmühlen), Zerschneiden, Zersägen oder Mahlen/Zerreiben
	Systematische Demontage von Fahrzeugen zur Rückgewinnung verwertbarer Bestandteile

Stoffauf- bereitung/ -trennung	Stoffaufbereitung mittels Luftherden/-setzmaschinen, Nassabscheidung oder Kombinationen davon
	... mittels Magneten, Zentrifugen oder Sieben
	... durch Sortieren mittels Vorrichtungen, die gewisse Kennzeichen/ Merkmale erkennen und unterscheiden
	... mittels semi-permeabler Membranen
Recycling bestimmter Materialien	Kunststoffe aus Produktionsrückständen oder Altmaterial
	Herstellung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus Gummiabfällen
	Hydro- und pyrometallurgische (Rück-)Gewinnung versch. Metalle
	Phosphatrückgewinnung aus Schlacken, Tierkörpern und Klärschlamm durch nass-chemische Laugung ggf. in Verbindung mit thermischer Be- handlung
	Gewinnung einer Aufbaukörnung aus Bauabfällen
	Wiedergewinnung von Materialien aus verbrauchten Batterien und Akku- mulatoren
	Stoffliche Rückgewinnung von Materialien aus Entladungsröhren oder -lampen
	Rückgewinnung von Fasern aus Altpapier
	Aufarbeitung gebrauchter Schmiermittel
Verarbeitung von Sekundär- rohstoffen	Stranggießen von Metallen, insbesondere Sekundärstahl
	Stahlherstellung im Elektroofen
	Geräte/Verfahren zur Aufbereitung und Verarbeitung von (Sekundär-) Baustoffen
Substitution	
Ersatz metall- haltiger Wirk- stoffe durch organische Alternativen	Biozide
	Gerbstoffe
	Kosmetika
	Medikamente
Ersatz von seltenen Erden	Elektromotoren ohne Permanentmagnete (Asynchrone Induktionsmotoren und -generatoren)
	Synchronmotoren oder -generatoren ohne Permanentmagneten
Kritische Metalle in PV-Panelen und Displays	Beschichtungen mit alternativen Metalloxiden
	Organische LEDs (OLED)

Tabelle 1 zeigt durch die Schattierung der entsprechenden Felder auch an, welche Technikinnovationen direkt oder mittelbar in einem der Vorhaben der Fördermaßnahme r^3 repräsentiert sind. Es ist offensichtlich, dass Substitutions- und Recyclingansätze in r^3 sehr stark vertreten sind, wogegen Materialeinsparung in r^3 nur eine untergeordnete Rolle spielt.

3 Ergebnisse

3.1 Innovationsdynamik

Erste Hinweise auf die Intensität der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie die Erneuerung der Wissensbasis innerhalb eines Technologiebereiches lassen sich anhand der Innovationsdynamik gewinnen, d. h. aus der Veränderung der Anzahl der entsprechenden Patentanmeldungen im Zeitverlauf. Für den Bereich der Einsparung kritischer Rohstoffe sind diese Verläufe in Abbildung 2 dargestellt. Dabei werden, ebenso wie in Tabelle 1, die Bereiche Materialeinsparung, Recycling und Substitution unterschieden und zum Vergleich der Entwicklung aller Patentanmeldungen gegenübergestellt. Für die Bereiche Substitution und Recycling werden außerdem jeweils eine allgemeine Version (die alle in Tabelle 1 gelisteten Innovationsansätze umfasst) und eine r^3 -Version (mit allen in Tabelle 1 grau unterlegten Innovationsansätzen) unterschieden. Für die Materialeinsparung gibt es keine r^3 -Version, weil Materialeinsparung in r^3 nur eine ganz geringe Bedeutung hat.

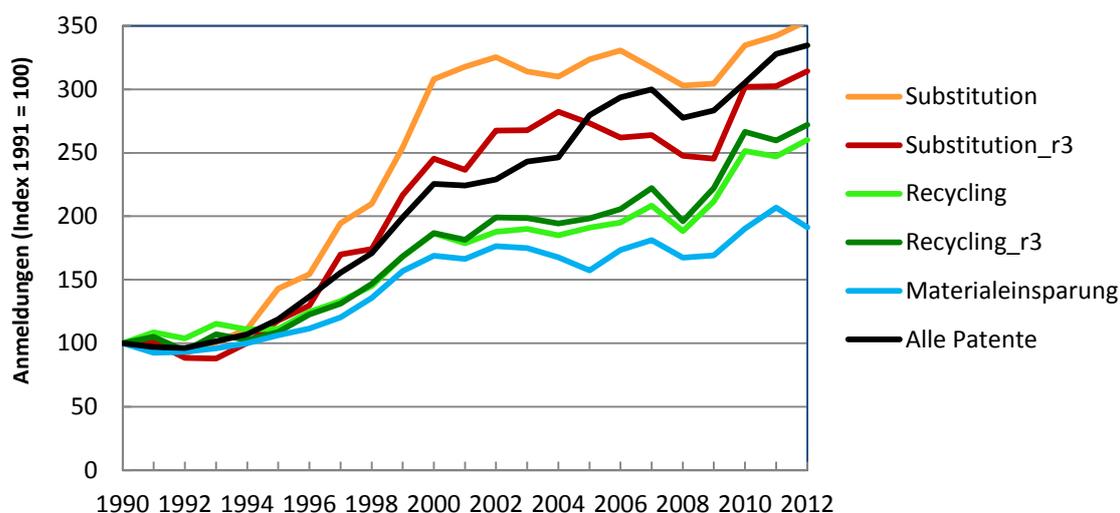


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Anzahl von Patentanmeldungen in verschiedenen Bereichen der Einsparung kritischer Rohstoffe weltweit.

Wie in Abbildung 2 dargestellt ist, ist in allen Bereichen die Dynamik, d.h. der Anstieg der jeweiligen Anmeldezahlen, in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre besonders ausgeprägt, wogegen die Zahlen zu Beginn der 1990er und 2000er Jahre nahezu konstant bleiben. Erst seit 2009 kommt es in allen Bereichen wieder zu deutlichen Anstiegen. Der Rückgang der Anmeldungen unmittelbar vor 2009 ist dabei zweifellos auf die weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise zurückzuführen, die sich auch in einem vergleichbaren Rückgang der Gesamtzahl aller Patente widerspiegelt. Bemerkenswert ist

außerdem der gemäßigte, aber deutliche Anstieg der Anzahl aller Patente im Zeitraum 2001 bis 2007, der vom Bereich Recycling nur in geringerem Umfang und von den Bereichen Materialeinsparung und Substitution nicht nachvollzogen wird. Die über weite Strecken überdurchschnittliche Dynamik im Bereich der Substitution ist damit vor allem auf die besonders ausgeprägte Entwicklung im Zeitraum von 1994 bis 2000 zurückzuführen. Im Gegensatz dazu bleibt die Dynamik des Recyclingbereiches deutlich und der Materialeinsparung sehr deutlich hinter der allgemeinen Dynamik (aller Patente) zurück, was vor allem im Fall des Recyclings auf die schwächere Entwicklung vor der Jahrtausendwende zurückzuführen sein dürfte.

Die r^3 -Variante des Recyclings unterscheidet sich vom Gesamtbereich nur geringfügig, was vor allem darauf zurückzuführen sein dürfte, dass sie auch hinsichtlich der Anzahl der Patentanmeldungen fast 90 Prozent des Gesamtbereichs repräsentiert. Im Falle der Substitution stellt die r^3 -Variante nur wenig mehr als die Hälfte des Gesamtbereichs dar, womit sich grundsätzlich auch größere Unterschiede der Dynamik erklären lassen. Im konkreten Fall resultiert die über weite Strecken konstante Differenz jedoch hauptsächlich aus einer unterschiedlichen Entwicklung in den Jahren 1991 bis 1993, die in der Folgezeit nicht mehr ausgeglichen wird.

Wird die Betrachtung der Patentierungsdynamik auf Deutschland fokussiert, dann weisen die zeitlichen Verläufe (siehe Abbildung 3) durch die geringere Anzahl der Patentanmeldungen eine deutlich stärkere Fluktuation auf. Davon abgesehen ist auch in Deutschland die Dynamik in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre am größten und die Dynamik im Bereich der Substitution ist weitgehend überdurchschnittlich, wogegen das Recycling und die Materialeinsparung hinter der Entwicklung aller Patentanmeldungen deutlich zurückbleiben. Der im Vergleich zur weltweiten Entwicklung größte Unterschied besteht jedoch darin, dass der Wiederanstieg nach der Wirtschaftskrise im Jahr 2008 deutlich verhaltener ausfällt (siehe Recycling und Materialeinsparung) oder gar nicht stattfindet (siehe Substitution und allgemeine Entwicklung). Damit erklärt sich auch, warum die deutschen Indizes am Ende des Betrachtungszeitraums im Jahr 2012 mit Werten zwischen 165 (Recycling) und 242 (Substitution) deutlich niedriger ausfallen als die weltweiten, die sich im Bereich zwischen 191 (Materialeinsparung) und 354 (Substitution) bewegen. Die Ursache für die geringere Dynamik im gesamten Betrachtungszeitraum dürfte darin bestehen, dass Deutschland zu Beginn der 1990er Jahre bereits eine deutlich größere Zahl von Patentanmeldungen aufzuweisen hatte als die meisten anderen Länder, so dass es schwieriger ist, von diesem hohen Ausgangsniveau ausgehend eine zusätzliche starke Steigerung zu erreichen. Weltweit hingegen geht der Großteil der Dynamik auf Schwellenländer wie China oder Südkorea zurück, die erst seit Mitte der 1990er Jahre in relevantem Umfang Patente anmelden. Der fehlende Anstieg nach dem Jahr 2009 könnte außerdem darauf zurückzuführen sein, dass

Deutschland durch die Krise wirtschaftlich weniger weit zurückgeworfen wurde als die meisten anderen Länder.

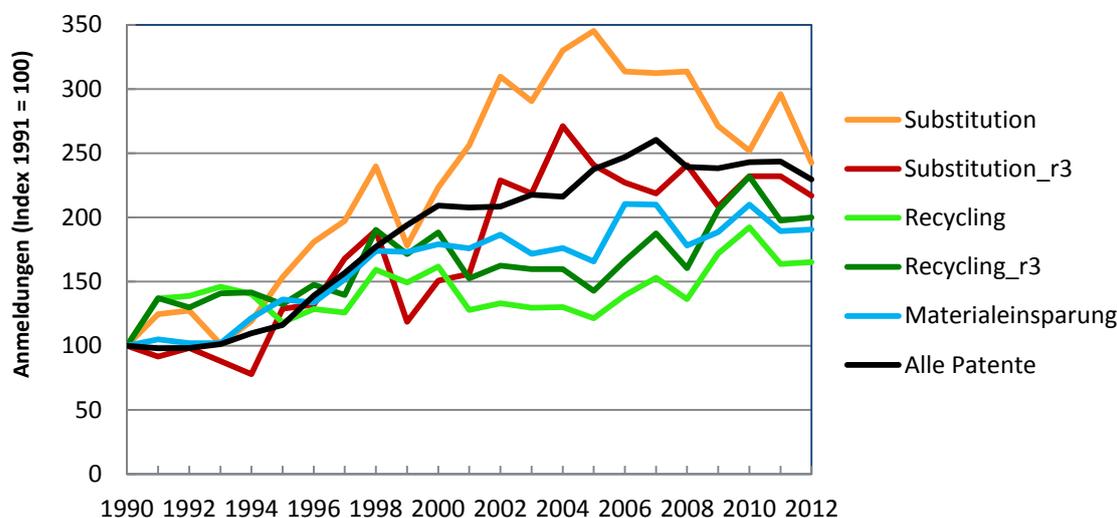


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Anzahl von Patentanmeldungen in verschiedenen Bereichen der Einsparung kritischer Rohstoffe in Deutschland.

3.2 Patentanteile

Wie der vorangegangenen Diskussion zu entnehmen ist, muss die Veränderung der Anzahl (d. h. die Dynamik) der Patentanmeldungen immer im Zusammenhang mit der absoluten Anzahl der Anmeldungen zu einem bestimmten Zeitpunkt gesehen werden, da ein bestimmter relativer Anstieg umso schwieriger umzusetzen ist, je höher die Anzahl zum Ausgangszeitpunkt bereits ist. Außerdem ist es methodisch schwierig verschiedene Länder auf der Basis ihrer jeweiligen Innovationsdynamiken zu vergleichen, da sich die Relationen im Zeitverlauf aufgrund sich verändernder Rahmenbedingungen ebenfalls verändern und überdies die Schwankungen der Patentzahlen bei Ländern mit einer kleineren Zahl von Anmeldungen aus statistischen Gründen noch zunehmen. Um die Bedeutung verschiedener Länder hinsichtlich ihres Beitrags zur Wissensgenerierung im Bereich der wasserwirtschaftlich relevanten Technologien zu bestimmen, ist es daher zunächst sinnvoll, die relevanten Länder anhand ihres jeweiligen Anteils an den Patentanmeldungen zu bestimmen. Um die Wirkung kurzfristiger und auf der Wirkung kleiner Zahlen beruhender Schwankungen auszuschließen, erfolgt in Abbildung 4 die Darstellung dieser Anteile auf der Basis der Summe der Anmeldungen im Zeitraum von 2010 bis 2012.

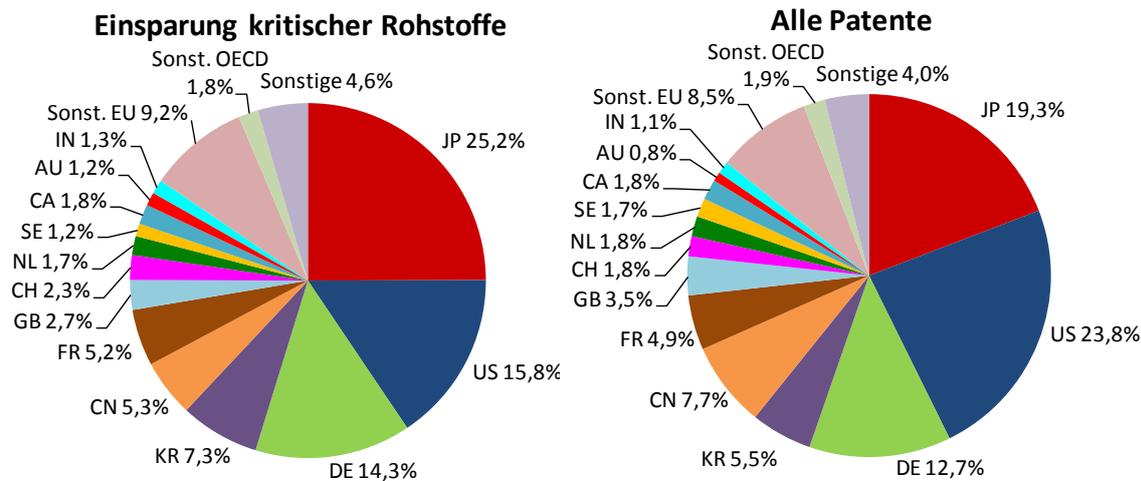


Abbildung 4: Verteilung der Patentanmeldungen im Bereich der Einsparung kritischer Rohstoffe und insgesamt auf die Anmelderländer (2010–2012, kumuliert). AU = Australien, CA = Kanada, CH = Schweiz, CN = VR China, DE = Deutschland, FR = Frankreich, GB = Großbritannien, IN = Indien, JP = Japan, KR = Südkorea, NL = Niederlande, SE = Schweden, US = USA, OECD = Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

Aus der Darstellung wird deutlich, dass die wichtigsten Anmelderländer zwar in beiden Fällen die gleichen sind, aber gerade bei den bedeutendsten Ländern kommt es zu bemerkenswerten Verschiebungen. Während die USA, Japan, China und (Süd)Korea bei der Gesamtheit aller Patente die Ränge 1, 2, 4 und 5 einnehmen, tauschen die USA und Japan sowie China und Korea bei der Einsparung kritischer Rohstoffe die Plätze. Die Anteile Japans und Koreas steigen dabei von 19,3 auf 25,2 bzw. von 5,5 auf 7,3 Prozent, wogegen die Anteile der USA und Chinas von 23,8 auf 15,8 bzw. von 7,7 auf 5,3 Prozent sinken. Die Ränge und Anteile aller anderen Länder verändern sich dagegen nur wenig. Der Anteil Deutschlands liegt bzgl. der Rohstoffeinsparungstechnologien um 1,6%-Punkte über dem Anteil aller Patente.

Da im Rahmen der Analyse der Innovationsdynamik auf einen Vergleich verschiedener Länder verzichtet wurde, gewinnt die zeitliche Entwicklung der in Abbildung 4 dargestellten Patentanteile umso mehr an Bedeutung. Wie in Abbildung 5 dargestellt, hat sich diese Verteilung seit dem Beginn der 1990er Jahre deutlich verändert. Trotz eines leichten Anstiegs der Anmeldezahlen hat sich der Anteil der USA als ursprünglich (im Jahr 1990) innovativster Volkswirtschaft bis zum Jahr 2012 halbiert. Gleiches gilt, auf sehr viel niedrigerem Niveau, für Großbritannien. Besser stellen sich im Vergleich dazu Länder wie Deutschland oder die Schweiz, die ihren Anteil knapp halten konnten, während sich die Anmeldezahlen im genannten Zeitraum verdoppelten. Dazwischen liegen

die meisten EU-Länder sowie Kanada und Australien, die trotz eines signifikanten Anstiegs der Anmeldezahl einen leichten Rückgang des Anteils verzeichnen mussten. Im Gegensatz zu den bereits genannten Ländern stehen die Schwellenländer China, Korea und Indien, die zu Beginn der 1990er Jahre im Bereich der Einsparung kritischer Rohstoffe überhaupt erst die ersten Patente angemeldet hatten und, ausgehend von diesem niedrigen Niveau, ihre Anmeldezahlen zwischenzeitlich ver Hundertfachen konnten. Es versteht sich von selbst, dass unter diesen Umständen auch der Anteil deutlich zunahm, so dass Korea und China im Jahr 2012 hinter der Triade Japan, USA und Deutschland die Ränge 4 und 5 einnehmen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung in Japan, wo es trotz einer hohen Patentieraktivitäten schon im Jahr 1990 in der Folgezeit zu einem weiteren deutlichen Anstieg des Patentanteils kommt.

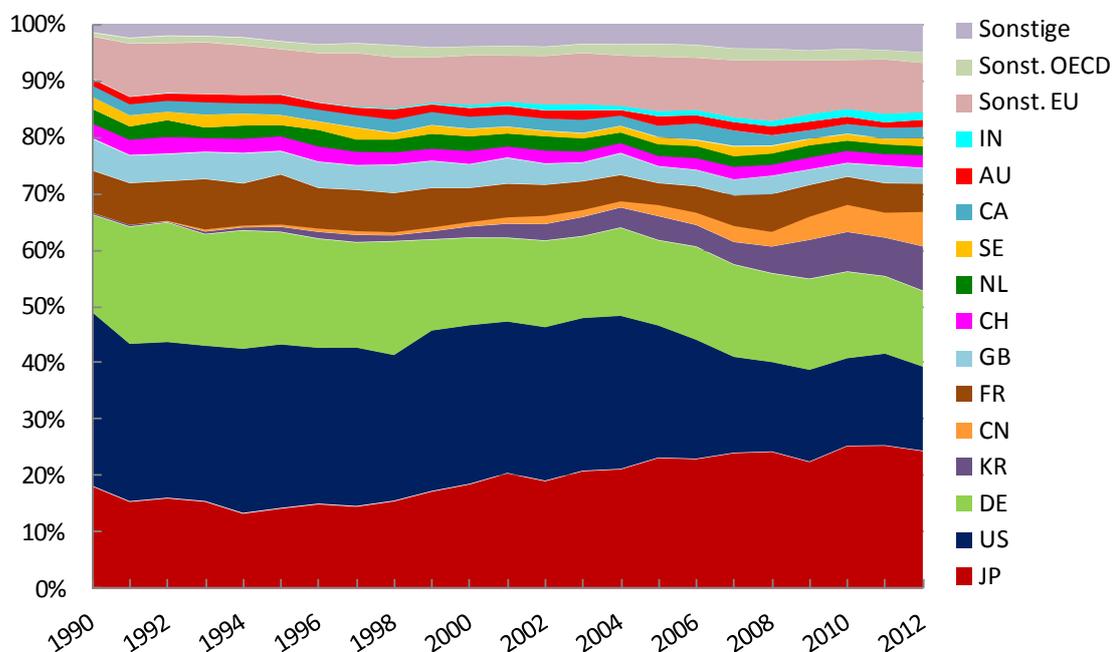


Abbildung 5: Veränderung der für die Einsparung kritischer Rohstoffe relevanten Patentanmeldungen (in %). Länderkürzel wie in Abbildung 4.

Werden die aktuellen Patentanteile im Bereich der Einsparung kritischer Rohstoffe auf die einzelnen Technologieteilbereiche heruntergebrochen, so zeigen sich, wie in Abbildung 6 dargestellt, von Bereich zu Bereich stark unterschiedliche nationale Anteilsverteilungen und für die entsprechenden Länder sehr unterschiedliche Spezialisierungsmuster.

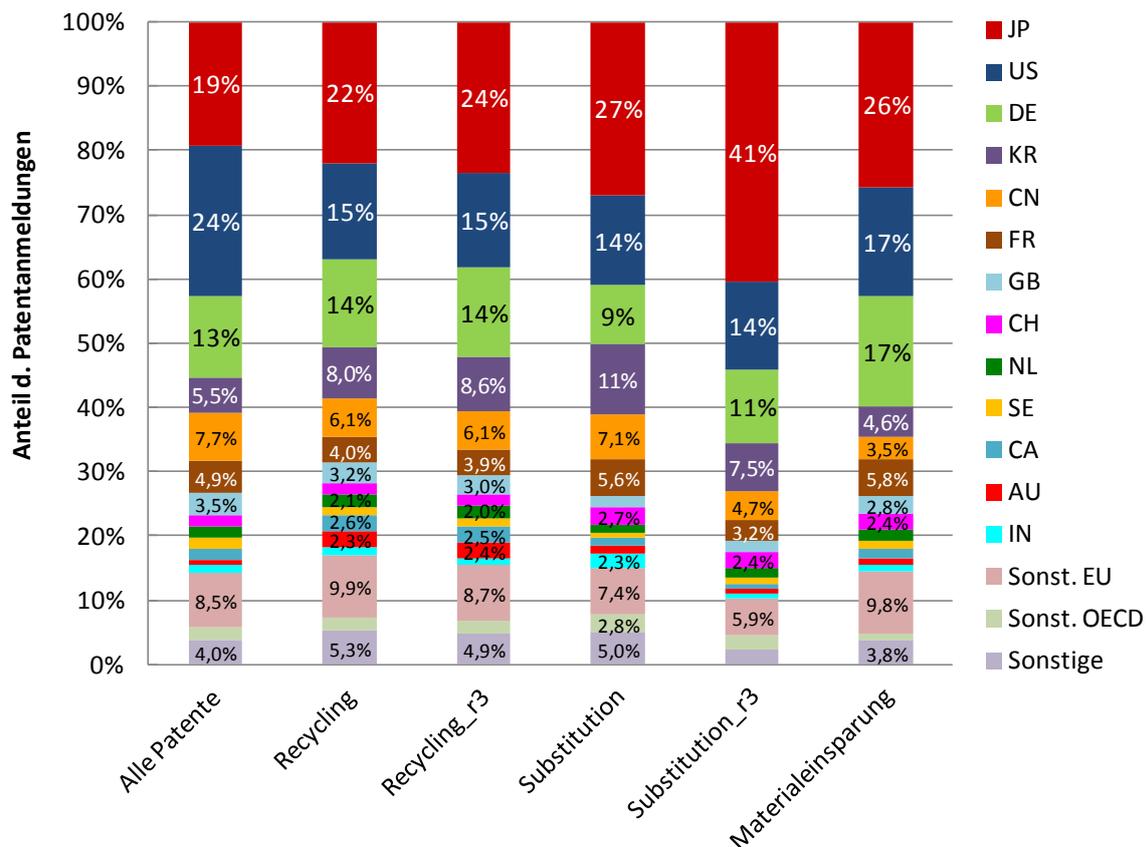


Abbildung 6: Anteile in % der Anmelde­länder an den Patentanmeldungen in verschiedenen für die Einsparung kritischer Rohstoffe relevanten Technikteilbereichen (2010–2012, kumuliert; Länderkürzel: vgl. Abbildung 4)

Während beispielsweise die USA und, in geringerem Umfang, China in allen Technikteilbereichen deutlich hinter dem Anteil aller Patentanmeldungen (23,8 bzw. 7,7 Prozent) zurückbleiben, zeigen sich für Deutschland leichte Vorteile beim Recycling (14 gegenüber 12,7 Prozent) und ein noch deutlicherer Vorteil (17 Prozent) bei der Materialeinsparung. Der Technikbereich Substitution (9 bzw. 11 Prozent) hingegen schneidet für deutsche Verhältnisse unterdurchschnittlich ab. Länder, in denen Patentanmeldungen zur Substitution besonders herausragen, sind demgegenüber Japan und Korea. In beiden Fällen ist der Anteil der Substitution noch einmal höher als der sowieso schon gesteigerte Anteil (25,2 bzw. 7,3 Prozent) im Gesamtbereich der Einsparung kritischer Rohstoffe (vgl. Abbildung 4).

Wie schon in Kapitel 3.1 im Kontext der Innovationsdynamik sind die Unterschiede zwischen dem Teilbereich Recycling und der r^3 -spezifischen Ausrichtung des Recyclings wegen der starken Überlappung beider relativ gering. Aus dem gleichen Grund sind die entsprechenden Unterschiede im Bereich Substitution deutlich größer. Neben

Japan zählt Deutschland dabei zu den wenigen Ländern, in denen die r^3 -spezifische Ausprägung der Substitution einen größeren Anteil einnimmt als die umfassende, in der zusätzlich noch pharmazeutische und Kosmetika-spezifische Aspekte der Substitution enthalten sind (vgl. Tabelle 1).

3.3 Patentspezialisierung

Wie im vorangegangenen Kapitel schon angedeutet wurde, ist es schwierig, die technische Leistungsfähigkeit kleiner Länder anhand von Patentanteilen zu beurteilen. Dabei kann gerade ein kleineres Land in einem oder mehreren Technologiebereichen eine Spezialisierung aufweisen ohne bei der Betrachtung der entsprechenden Patentanteile besonders in Erscheinung zu treten. Um auch in diesen Fällen die technologische Leistungsfähigkeit einschätzen zu können, greifen wir auf das im Kapitel 2.2 dargestellte Spezialisierungsmaß des relativen Patentanteils, auch RPA genannt, zurück. Für eine Auswahl von Ländern mit hohen Patentanteilen oder einer deutlichen Spezialisierung in r^3 -relevanten Technikbereichen sind die entsprechenden RPA-Werte in Abbildung 7 aufgeführt.

Es fällt auf, dass hohe RPA-Werte vor allem, aber nicht ausschließlich von solchen Ländern erreicht werden, die eher kleinere Patentanteile aufweisen. Sowohl Japan als auch Korea weisen in fast allen Technikteilbereichen eine signifikante ($RPA > 20$) vereinzelt sogar hohe ($RPA > 50$) Spezialisierung auf, während sie im Ranking Platz 1 und 4 einnehmen. Von den Ländern mit kleineren Patentanteilen sind Österreich, Norwegen und Polen sowie außerhalb Europas Australien, Kanada, Russland, Brasilien, Neuseeland und Mexiko in mehr als einem Technikteilbereich besonders spezialisiert. Wie sich schon in Kapitel 3.2 andeutet, weist Deutschland demgegenüber nur in einem Teilbereich, der Materialeinsparung eine signifikante Spezialisierung auf.

Untersucht man anhand der RPA-Werte genauer, für welche Technologiebereiche jeweils eine signifikante Spezialisierung vorliegt, so fällt auf, dass die Spezialisierungen sehr ungleich verteilt sind. So gibt es mit Japan, Korea, Kanada, Australien, Russland, Norwegen und anderen eine größere Zahl von Ländern mit großenteils starker Spezialisierung im Bereich des Recyclings. Einige dieser Länder, insbesondere Australien und Russland, sind auch in der Gewinnung von Rohstoffen sehr aktiv, was mit einem Blick auf Tabelle 1 die Vermutung nahelegt, dass mit der Stoffvereinzelnung, Stoffaufbereitung und Metall(rück-)gewinnung Patente nicht nur im Bereich des Recyclings, sondern auch der Primärgewinnung erfasst werden. Im Vergleich dazu ist die Anzahl der in Substitution spezialisierten Länder deutlich kleiner. Die Liste wird wieder von Japan und Korea angeführt, ist aber mit Indien, Brasilien, Neuseeland und Mexiko schon komplettiert. Noch geringer ist schließlich der Spezialisierungsgrad im

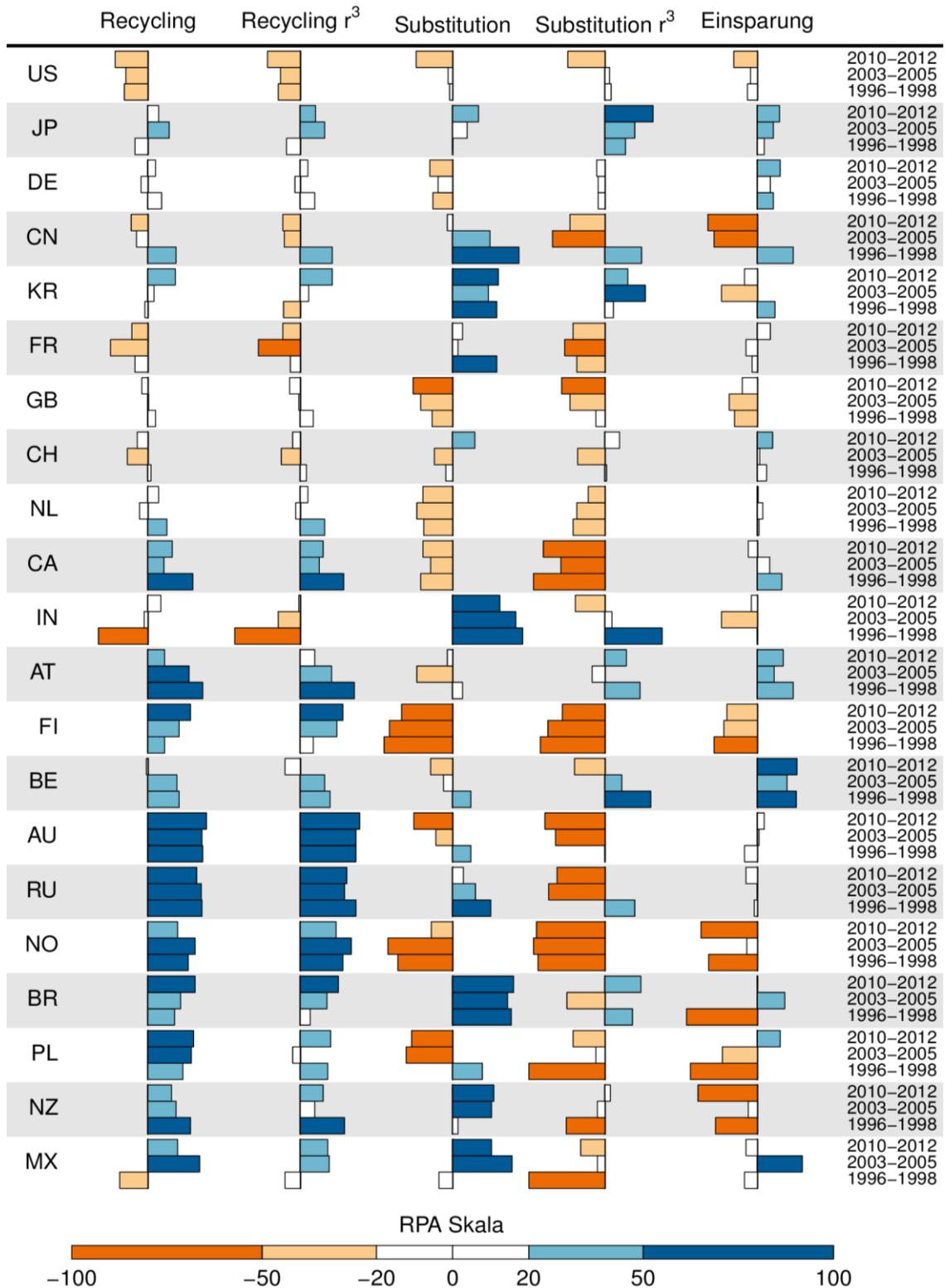


Abbildung 7: Spezialisierung verschiedener Patentanmelderländer (gemessen als RPA) in für die Einsparung kritischer Rohstoffe relevanten Technikbereichen (2006–2010, kumuliert; Länderkürzel wie in Abbildung 4).

Technikteilbereich Materialeinsparung, wo nur Belgien eine hohe Spezialisierung aufweist; bei Japan, Deutschland, der Schweiz und Österreich ist die Spezialisierung gerade einmal signifikant.

Was die zeitliche Veränderung der RPA-Werte angeht, so stellen extreme Veränderungen, bspw. von einer stark negativen zu einer neutralen oder gar positiven Spezialisierung, die Ausnahme dar. Die vorhandenen Veränderungen sind überwiegend gradueller Natur. Diese Befunde stehen im Gegensatz zu anderen Technikbereichen wie der nachhaltigen Wasserwirtschaft (Hillenbrand et al., 2013), wo sich im Verlauf eines ähnlichen Betrachtungszeitraums deutlich stärkere RPA-Veränderungen vollzogen.

4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung der Innovationsdynamik im Kontext der Einsparung kritischer Rohstoffe legt nahe, dass das Recycling und die Materialeinsparung aus Innovationperspektive heute insgesamt eher ausgereifte Technikbereiche darstellen, wogegen die Substitution eine überdurchschnittliche Dynamik aufweist und damit als besonders innovativ gelten kann. Wird die Perspektive auf Deutschland begrenzt, so bleiben die Relationen zwischen den Technikbereichen erhalten, die Dynamik ist insgesamt und vor allem in der jüngeren Vergangenheit aber etwas geringer, was aber nicht auf einen Mangel an Innovativität zurückzuführen ist. Vielmehr waren deutsche Patentanmelder vor allem im Bereich Recycling schon vor und besonders zu Beginn des Analysezeitraums in den 1990er Jahren aktiv, so dass die festgestellten Zuwächse auf einen höheren Basiswert Bezug nehmen und damit in ihrer Höhe methodisch bedingt geringer ausfallen.

Im Hinblick auf die Einsparung kritischer Rohstoffe erweist sich die überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit Deutschlands vor allem an dem Anteil der Patente, die deutsche Unternehmen im weltweiten Maßstab zur Anmeldung eingereicht haben. Dieser Anteil ist in diesem Bereich nicht nur höher als bei den Patentanmeldungen insgesamt; er konnte außerdem über den Betrachtungszeitraum hinweg weitgehend konstant gehalten werden, wogegen er bei vielen anderen Industrieländern deutlich zurückging. Dass die Patentanteile der meisten Industrieländer seit Anfang der 1990er Jahre deutlich zurückgingen, ist auf einen entsprechenden Anstieg vor allem in vier Ländern zurückzuführen: den Schwellenländern China, Korea und Indien sowie dem Industrieland Japan.

Es sind außerdem vor allem diese vier Länder, die im Technikteilbereich der Substitution eine positive Spezialisierung und damit ein hohes, in die Zukunft gerichtetes Wettbewerbspotenzial aufweisen. Deutschland weist hier, gemessen an Patentanteilen und Spezialisierung eine leicht unterdurchschnittliche Leistungsfähigkeit auf.

Besser, d.h. leicht überdurchschnittlich, ist die Leistungsfähigkeit Deutschlands im Bereich Recycling, wenngleich hier die große Zahl anderer Schwellen- und Industrieländer hervorzuheben ist, die bzgl. Recycling eine signifikante bis starke Spezialisierung aufweisen und damit voraussichtlich auch eine starke Wettbewerbsposition aufweisen. Die gemessen an Patentanteilen und Spezialisierung beste Leistungsfähigkeit weisen deutsche Patentanmelder im Bereich der Materialeinsparung auf. Da hier wenige andere Länder eine positive Spezialisierung aufweisen, kann von einer sehr guten Wettbewerbsposition ausgegangen werden.

5 Literaturverzeichnis

Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Lüllmann, A.; Erdmann, L.; Scharp, M.; Handke, V.; Marwede, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Stuttgart: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Fraunhofer-IRB-Verl.

BMBF (2010): Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Fördermaßnahme „r³ – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“. Online verfügbar unter <http://www.bmbf.de/foerderungen/15444.php>, zuletzt aktualisiert am 02.11.2010, zuletzt geprüft am 21.09.2015.

Dürkoop, Anke; Gutzmer, Jens; Faulstich, Martin; Klossek, Andreas (2012): Das Begleitforschungsprojekt INTRA r3+. Integration und Transfer der r3-Forschungsergebnisse zur nachhaltigen Sicherung strategischer Metalle und Mineralien. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann (Hg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK, S. 507–521. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2012_rur/2012_RuR_507_522_duerkoop.pdf.

EPO (2015): EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT). European Patent Office. Online verfügbar unter <http://www.epo.org/searching/subscription/raw/product-14-24.html>.

Fraunhofer ISI (2015): Monitoring zu Verbund CaF2. unveröffentlicht.

Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels. Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Klug, S.; Lüninck, B.; Niederste-Hollenberg, J.; Sartorius, C.; Walz, Rainer (2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Innovationsreport. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Arbeitsbericht, 158).

Moss, R. L.; Tzimas, E.; Kara, H.; Willis, P.; Kooroshy, J. (2011): Critical Metals in strategic Energy Technologies. Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies. Hg. v. JRC Scientific and Technical Reports. JRC - Institute for Energy and Transport; Oakdene Hollins; The Hague Centre for Strategic Studies.

Ostertag, K.; Sartorius, Ch.; Tercero Espinoza, L. (2010): Innovationsdynamik in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. In: *Chemie Ingenieur Technik* 82 (11), S. 1893–1901. DOI: 10.1002/cite.201000120.

Walz, R.; Ostertag, K.; Doll, C.; Eichhammer, W.; Frietsch, R.; Hlfrich, N. et al. (2008): Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin (Umwelt Innovation Beschäftigung, 03/08).