

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

02/2022

Internationale Kooperationen im Bereich Umwelttechnologie und die Rolle Deutschlands

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Umweltinnovationspolitik

von:

Carsten Gandenberger

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI Karlsruhe

unter Mitarbeit von:

Katrin Ostertag

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI Karlsruhe

Herausgeber:

Umweltbundesamt



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 02/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3717 14 101 0
FB000762

Internationale Kooperationen im Bereich Umweltechnologie und die Rolle Deutsch- lands

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen
Umweltinnovationspolitik

von

Carsten Gandenberger
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Karlsruhe

unter Mitarbeit von:

Katrin Ostertag
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz
Stresemannstr. 128 – 130
10117 Berlin
service@bmu.bund.de
www.bmu.bund.de

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

Oktober 2021

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,
nachhaltiger Konsum
Dr. Frauke Eckermann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, März 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Internationale Kooperationen im Bereich Umwelttechnologie und die Rolle Deutschlands

Die Intensivierung internationaler Forschungs- und Technologiekooperationen kann einen wichtigen Beitrag zur Überwindung globaler Umweltprobleme leisten. Daher erfolgt in dieser Studie eine Bestandsaufnahme der kooperativen Innovationsaktivitäten bei Umwelttechnologien auf globaler Ebene. Die Analyse stützt sich auf Daten zu internationalen Ko-Publikationen, internationalen Ko-Patenten, ausländischen F&E-Direktinvestitionen sowie zum internationalen Handel mit Umwelttechnologien. Die in dieser Studie betrachteten Innovationsindikatoren zeigen ein starkes Wachstum der Umweltinnovationsaktivitäten in Schwellenländern. Deutschland könnte die globale Innovationsdynamik bei Umwelttechnologien noch stärker unterstützen. Für die Erschließung dieser Potenziale werden einige Ansatzpunkte aufgezeigt.

Abstract: International Cooperation in the Area of Environmental Technologies and the Role of Germany

The intensification of international research and technology cooperation can make an important contribution to overcoming global environmental problems. This study therefore takes stock of cooperative innovation activities in environmental technologies at the global level. The analysis is based on data on international co-publications, international co-patents, foreign direct R&D investments and international trade in environmental technologies. The innovation indicators considered in this study show strong growth in environmental innovation activities in emerging economies. Germany could support the global innovation dynamic in environmental technologies even more strongly. A number of starting points are identified for tapping this potential.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
Zusammenfassung.....	9
Summary.....	11
1 Einführung.....	12
2 Bestandsaufnahme internationaler Kooperationsaktivitäten im Bereich der Umwelttechnologie.....	13
2.1 Internationale Kooperationen in der F&E.....	13
2.1.1 Grundlagenorientierte Forschung.....	14
2.1.2 Anwendungsorientierte Forschung.....	20
2.1.3 Zwischenfazit.....	27
2.2 F&E-Standorte deutscher Umwelttechnologiehersteller.....	28
2.3 Internationaler Handel.....	30
3 Exkurs: Die Entwicklung der Technologischen Innovationssysteme für PV und Windenergie in China.....	32
4 Politische Initiativen zur Förderung internationaler Kooperationen.....	34
4.1 Grundmodell.....	34
4.2 Initiativen zur Förderung der Entstehung von „transfer-geeigneten“ Umweltinnovationen (Ansatzpunkt 1).....	35
4.3 Initiativen zur Förderung internationaler Technologiekooperationen auf der Akteursebene (Ansatzpunkt 2).....	36
4.4 Capacity Building (Ansatzpunkt 3).....	38
5 Fazit und Handlungsempfehlungen.....	39
6 Quellenverzeichnis.....	41
A Anhang.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anteil der internationalen Ko-Publikationen an allen Publikationen im Bereich Umwelttechnologie.....	18
Abbildung 2:	Publikationen und Ko-Publikationen bei Umwelttechnologie im Periodenvergleich 2000-2005 und 2012-2017	19
Abbildung 3:	Anteil internationaler Ko-Patente an allen Patenten im Bereich Umwelttechnologie	24
Abbildung 4:	Patente und Ko-Patente bei Umwelttechnologie im Periodenvergleich 2000-2005 und 2012-2017	26
Abbildung 5:	Modell internationaler Technologiekoperationen bei Umwelttechnologien	35
Abbildung 6:	Publikationen und Ko-Publikationen bei Umwelttechnologie 2006-2011.....	44
Abbildung 7:	Patente und Ko-Patente bei Umwelttechnologie 2006-2011 ..	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklung der Anzahl internationaler Ko-Publikationen im Bereich Umwelttechnologie nach Ländergruppen 2000 - 2017	14
Tabelle 2:	Anzahl internationaler Ko-Publikationen bei Umwelttechnologien auf Länderebene 2000 - 2017	15
Tabelle 3:	Anzahl der akademischen Publikationen im Bereich der Umwelttechnologie und Spezialisierung der Publikationsaktivitäten auf Umwelttechnologie	17
Tabelle 4:	Entwicklung und Struktur der internationalen Ko-Patente bei Umwelttechnologien	21
Tabelle 5:	Entwicklung der internationalen Ko-Patente bei Umwelttechnologien auf Länderebene.....	21
Tabelle 6:	Entwicklung der Anzahl der Patente bei Umwelttechnologien und der Spezialisierung auf Umwelttechnologie auf Länderebene.....	23
Tabelle 7:	Erwartungen bezüglich der Entwicklung der eigenen F&E im Aus- und Inland.....	29
Tabelle 8:	Motive und Funktionen für F&E im Ausland	30
Tabelle 9:	Anteil der jeweiligen Exportströme am weltweiten Export von Umwelttechnologien	31
Tabelle 10:	Vergleich des Technologischen Innovationssystems (TIS) für Windenergie und PV in China.....	32
Tabelle 11:	Internationale Mobilität von Wissenschaftlern, 1996-2011	46

Abkürzungsverzeichnis

AvH	Alexander von Humboldt-Stiftung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
DAAD	Deutscher Akademischer Austauschdienst
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
EPO	European Patent Office
EU	Europäische Union
FDI	Foreign Direct Investment
F&E	Forschung und Entwicklung
HS	Harmonisiertes System (der Zolltarifnomenklatur)
IKI	Internationale Klimaschutzinitiative
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
LCC	Local Content Criteria
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
P	Periode
PATSTAT	Worldwide Patent Statistical Database
PV	Photovoltaik
RPA	Relativer Patentanteil
RVA	Relativer Veröffentlichungsanteil
RXA	Relativer Welthandelsanteil
SDG	Sustainable Development Goal
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
TIS	Technological Innovation System
WIPO	World Intellectual Property Organization

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren ließ sich ein starkes Wachstum der Umweltinnovationsaktivitäten in Schwellenländern beobachten. Angesichts dieser Entwicklung stellt sich die Frage, ob das deutsche Innovationssystem offen genug ist, um die sich dadurch ergebenden Chancen für die internationale technische Zusammenarbeit zu nutzen. Um dieser Frage nachzugehen, erfolgt eine Bestandsaufnahme der internationalen Kooperationsaktivitäten für den Zeitraum 2000-2017 mit Fokus auf internationale Ko-Publikationen, internationale Ko-Patente, ausländische F&E-Direktinvestitionen deutscher Unternehmen sowie den internationalen Handel mit Umwelttechnologien.

Deutschlands wichtigste Partnerländer im Bereich der Forschung zu Umwelttechnologien (Publikationen und Patente) sind nach wie vor die USA und die europäischen Nachbarländer (insbesondere Frankreich, Schweiz, Großbritannien und die Niederlande). Die internationalen Ko-Publikationen sind stark gewachsen, so dass inzwischen fast jede zweite Publikation im Bereich der Umwelttechnologie eine internationale Ko-Publikation ist. Dennoch bleibt Deutschland bezogen auf das Wachstum der internationalen Ko-Publikationen relativ deutlich hinter anderen Industrieländern zurück. Die Internationalisierung der Patentaktivitäten Deutschlands liegt auf einem hohen Niveau und hat sich über den Betrachtungszeitraum noch gesteigert.

Die wichtigsten Zielländer für deutsche F&E-Investitionen im Ausland spiegeln die Muster wider, die auch bei Ko-Publikationen und Ko-Patenten zu beobachten sind. Darüber hinaus sind es eher große Unternehmen, die in ausländische F&E-Standorte investieren. Bei der Standortwahl spielen neben dem Kostenargument auch der Zugang zu den spezifischen Stärken ausländischer Innovationssysteme eine gewisse Rolle. Der Blick auf den Welthandel mit Umwelttechnologien zeigt, dass das Niveau des Süd-Süd-Handels bei Umwelttechnologien zwar insgesamt noch gering ist. Zugleich ist dies aber das am stärksten wachsende Marktsegment. Deutschland weist mit Abstand die höchsten Exportanteile im Handel mit den OECD-Ländern auf, ist aber entsprechend negativ auf die stark wachsenden Märkte der Länder mit mittlerem Einkommen spezialisiert.

Ansätze für eine stärkere Öffnung des deutschen Innovationssystems für Kooperationen mit Schwellen- und Entwicklungsländern lassen sich in folgende Bereiche gliedern: (1) Förderung der Entstehung von Umweltinnovationen, die an die Bedürfnisse der Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländern besonders gut angepasst sind; (2) Förderung internationaler Technologiekooperationen auf der Akteursebene und (3) Förderung der Absorptionsfähigkeiten der Empfängerländer durch Maßnahmen des 'capacity building'.

Um anschlussfähig zu bleiben an die Anforderungen einer sich im Wandel befindlichen Welt, werden zusammenfassend folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- ▶ Stärkere Integration des Aspekts der frugalen Innovation in die ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung und die Forschungsförderung;
- ▶ Entwicklung und Fortführung spezieller F&E-Programme zur Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern im Bereich der Umwelttechnologie;
- ▶ Maßnahmen zur Erhöhung der Offenheit des deutschen Innovationssystems gegenüber Studierenden und Wissenschaftlern aus Schwellen- und Entwicklungsländern;
- ▶ Strategische Beratung und Dienstleistungen zur Erhöhung des Schutzes von KMU vor ungewollten Know-how-Abflüssen und Produktpiraterie;

- ▶ Initiiere lokale Netzwerke und Durchführung von Demonstrationsprojekten für neue Technologien im Globalen Süden.

Summary

In recent years, strong growth in environmental innovation activities in emerging countries has been observed. In view of this development, the question arises as to whether the German innovation system is open enough to take advantage of the resulting opportunities for international technical cooperation. To address this question, a review of international cooperation activities for the period 2000-2017 is conducted with a focus on international co-publications, international co-patents, foreign R&D direct investment by German companies and international trade in environmental technologies.

In the field of research on environmental technologies (publications and patents), Germany's most important partner countries continue to be the USA and Germany's European neighbours (in particular France, Switzerland, the UK and the Netherlands). Germany publishes very strongly in the field of environmental technologies and its international co-publications have increased considerably: today, almost every second publication on environmental technologies is an international co-publication. However, Germany still lags behind the other industrialized countries in terms of growth in international co-publications. The internationalization of Germany's patent activities is at a high level and has increased over the period under review.

The most important target countries for German R&D investments abroad reflect the regional patterns of co-publications and co-patents. Companies investing in foreign R&D locations tend to be large enterprises. Besides the cost argument, access to the specific strengths of foreign innovation systems is an additional motive. A look at world trade data in environmental technologies shows that the level of South-South trade in environmental technologies is still low, yet it is the fastest-growing market segment. Germany has by far the highest shares in trade with OECD countries and - correspondingly - weaknesses in the fast-growing markets of middle-income countries.

Overall, the analysis shows that Germany could improve its performance in various areas in order to better support the global innovation dynamics in environmental technologies and to benefit from it itself. Options for tapping this potential can be divided into three approaches: (1) promoting the emergence of environmental innovations that are particularly well adapted to the needs of the markets in emerging and developing countries; (2) promoting international technology cooperation at the actor level; and (3) promoting the absorptive capacities of recipient countries through 'capacity building' measures.

For Germany's continued ability to meet the requirements of a changing world, the following measures are proposed:

- ▶ Increased integration of the aspect of frugal innovation into engineering and economics education and research funding;
- ▶ Development and continuation of special R&D programs to promote international scientific cooperation with developing and emerging countries in the field of environmental technology;
- ▶ Measures to increase the openness of the German innovation system to receive students and scientists from emerging and developing countries;
- ▶ Strategic consulting and support services to better protect SMEs from unwanted leakage of knowledge and from product piracy;
- ▶ Initiating local networks and implementing demonstration projects for new technologies in the Global South.

1 Einführung

Im Sinne der internationalen Gerechtigkeit fordert der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) von den Industriestaaten eine Führungsrolle bei der Entwicklung von Lösungen für globale Umweltprobleme (SRU 2012). Darüber hinaus ist die Intensivierung der technologischen Zusammenarbeit mit Schwellen- und Entwicklungsländern und des Technologietransfers ein elementarer Bestandteil des Pariser Klimaschutzabkommens. Die Bundesregierung stellt sich dieser Aufgabe, wie u. a. in der Weiterentwicklung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie deutlich wird (Bundesregierung 2021). Laut dem Greentech-Atlas haben deutsche Unternehmen im Bereich der Umwelttechnologie eine starke Position auf dem Weltmarkt, allerdings zeichnet sich eine deutliche Intensivierung des globalen Wettbewerbs ab - auch mit Blick auf Schwellenländer (z. B. China) und Technologiebereiche, in denen Deutschland bisher stark ist (BMU 2018, 2021). Dies steht im Einklang mit Veränderungen der globalen Innovationslandschaft bei Umwelttechnologien, die sich in den letzten Jahren vollzogen haben.

Anhand von Innovationsindikatoren, basierend auf Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen, lässt sich ein starkes Wachstum der Umweltinnovationsaktivitäten in den Schwellenländern erkennen. Für diesen Anstieg sind zum Teil gezielte forschungspolitische Strategien und Investitionen verantwortlich, die im Rahmen einer Grünen Industriepolitik verfolgt werden (Altenburg und Assmann 2017). Ein Beispiel ist die chinesische Politik zur Förderung eigenständiger Innovationen bei strategischen Technologien, zu denen auch manche Umwelttechnologien zählen. Zudem konnten bei einigen Umwelttechnologien, wie z. B. Windkraft und Photovoltaik, Unternehmen aus Schwellenländern innerhalb relativ kurzer Zeit zu globalen Marktführern aufsteigen. Angesichts der Dynamik dieser Entwicklung stellt sich die Frage, inwieweit die globalen Verlagerungen der Absatzmärkte und von Teilen der Produktion zukünftig eine Verschiebung der bislang stark auf die westlichen Industrieländer konzentrierten Innovationsaktivitäten in Richtung Schwellenländer nach sich ziehen wird, und wie die deutschen Unternehmen und die Politik hierauf reagieren sollten.

Da die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Umwelttechnologiehersteller nicht nur von der Innovationskraft des eigenen Unternehmens, sondern auch von der des deutschen Innovationssystems beeinflusst wird, stellt sich weiterhin die Frage, inwieweit dieses bislang auf die oben skizzierten Veränderungen der globalen Innovationslandschaft reagiert hat. Von besonderem Interesse ist hierbei, ob das deutsche Innovationssystem offen genug ist, um die dynamische Entwicklung ausländischer Innovationssysteme angemessen zu erfassen und zu verarbeiten, um letztlich anschlussfähig zu bleiben an die Anforderungen einer sich im Wandel befindlichen Welt. Kooperationsbeziehungen mit Akteuren aus schnell wachsenden Schwellen- und Entwicklungsländern können eine Voraussetzung hierfür sein und sind Ausdruck für eine personelle und institutionelle Offenheit, wobei sich diese konkret für folgende Kooperationsformen beobachten lässt:

- ▶ Internationale Ko-Publikationen;
- ▶ Internationale Ko-Patente;
- ▶ Investitionen in ausländische F&E-Standorte;
- ▶ Internationaler Handel;¹

¹ Beim internationalen Handel mit komplexen Technologien kommt es zum Austausch von *capital embodied knowledge*, also von Wissen, das in die Entwicklung und Produktion technologischer Artefakte eingeflossen ist. Darüber kann es durch den Austausch von technologischen Spezifikationen und Wissen über den Einsatz der Technologie zu kooperationsähnlichen Austauschbeziehungen zwischen Verkäufer und Käufer kommen.

- ▶ Internationale Mobilität von Studierenden und Wissenschaftlern;
- ▶ Informationsaustausch in formalen und informalen Netzwerken auf internationaler Ebene;
- ▶ Durchführung von Pilot- und Demonstrationsprojekten im internationalen Kontext.

Das bislang vorherrschende Modell des Nord-Süd-Technologietransfers gerät auch dadurch unter Druck, dass angesichts der speziellen Anforderungen von Entwicklungsländern zunehmend neue, angepasste Konzepte und Leitbilder propagiert werden, wie z. B. "frugal innovation" oder "reverse innovation", die sich die eigenständigen Innovationskapazitäten der Entwicklungsländer zu Nutze machen (Jänicke 2014; Agarwal und Brem 2012; Tiwari und Herstatt 2012). Frugalen Innovationen wird aufgrund ihrer Eigenschaften ein hohes Diffusionspotenzial zugesprochen. Angesichts des zu erwartenden Anstiegs des Konsumniveaus in Entwicklungs- und Schwellenländern erscheint es geboten, Frugalität und Umweltnutzen von Innovationen zusammenzubringen, damit die Umweltprobleme dieses Anstiegs gering bleiben (Gandenberger et al. 2020). Neben neuen Leitbildern für Innovationsprozesse werden in Entwicklungsländern gegenwärtig auch innovative Organisationsformen und Netzwerke für Umweltinnovationen diskutiert, wie z. B. Climate Innovation Center (Sagar et al. 2009), bei denen Akteure aus Forschung, Wirtschaft und Politik gemeinsam an der Entwicklung angepasster technologischer Lösungen arbeiten, um den Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen.

Im Zuge der weiteren Untersuchung erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der internationalen Kooperationsaktivitäten (Kapitel 2) mit Fokus auf internationale Ko-Publikationen, internationale Ko-Patente, ausländische Direktinvestitionen in F&E sowie internationalen Handel im Bereich Umwelttechnologien. Der Blick ist hier breit auf alle internationalen Kooperationsbeziehungen gerichtet; die Aspekte der Nord-Süd-Kooperationen werden darin aber besonders vertieft. In Kapitel 3 wird anhand einer Analyse der Technologischen Innovationssysteme für Photovoltaik und Windenergie für China exemplarisch verdeutlicht, wie der Aufbau der entsprechenden Innovationssysteme voranschreitet. Abschließend werden in Kapitel 4 bestehende politische Initiativen der Bundesregierung zur Förderung internationaler Technologiekooperationen dargestellt. Kapitel 5 entwickelt Handlungsempfehlungen für die Gestaltung internationaler Kooperationen und deren Förderung.

2 Bestandsaufnahme internationaler Kooperationsaktivitäten im Bereich der Umwelttechnologie

2.1 Internationale Kooperationen in der F&E

Zunächst wurde die Innovationsstärke der wichtigsten Industrie- und Entwicklungsländer im Bereich der Umwelttechnologie, sowie die Intensität der internationalen Forschungsk Kooperationen anhand von zwei technologiespezifischen Innovationsindikatoren, Patentanmeldungen und wissenschaftliche Publikationen, erhoben. Die Erhebung wurde zunächst für 69 Umwelttechnologien aus den Bereichen Nachhaltige Energieerzeugung, Energieeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Wasser/Abwasser² und für 54 Länder, hierunter die 25 aktivsten Schwellen- und Entwicklungsländer und die 29 aktivsten Industrieländer, durchgeführt.

² Der Umfang der betrachteten Umwelttechnologien geht über die in Gehrke et al. (2019, 2021) betrachteten Umweltbereiche hinaus. Die Daten für „Umweltpatente“ sind deshalb nicht direkt miteinander vergleichbar. Die Ergebnisse zur leicht positiven Spezialisierung Deutschlands im Bereich Umwelttechnologien decken sich aber in allen drei Studien.

Für die Erhebung der Patentdaten wurde eine entsprechende Abfrage der transnationalen Patentanmeldungen in der „PATSTAT Datenbank“ der „World Intellectual Property Organization (WIPO)“ durchgeführt.³ Unter einem transnationalen Patent versteht man ein Patent, das zum Schutz der Erfindung auf mehreren ausländischen Märkten angemeldet wird. Der Fokus auf transnationale Patente ist ein etabliertes Vorgehen, um vor allem qualitativ hochwertige Patente in der Analyse zu berücksichtigen. Komplementär dazu wurden wissenschaftliche Publikationen anhand einer Abfrage der Web of Science-Datenbank erfasst und entsprechend weiterverarbeitet, wobei Konferenzbeiträge nicht berücksichtigt wurden, um eine Zweifacherfassung von Konferenz- und Zeitschriftenbeiträgen zu vermeiden. Anschließend wurden die Rohdaten für die weiteren Analyseschritte aufbereitet. Die Abfrage berücksichtigt den Zeitraum 1995 - 2017 mit Detailbetrachtungen für die Zeiträume 2000-2005, 2006-2011 und 2012-2017.

Im zweiten Schritt wurden für jede Technologie zunächst die innovationsstärksten Schwellen- und Industrieländer ausgewählt. Hierzu zählen neun etablierte Industrieländer (USA, Japan, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, die Niederlande, die Schweiz und Kanada), die in ihrer Gesamtheit im Folgenden als "Norden" bezeichnet werden und die sieben Schwellenländer Brasilien, China, Indien, Südkorea, Russland, Singapur und Taiwan (in ihrer Gesamtheit als "Süden" bezeichnet). Für diese 16 Länder wurde dann eine weitere Abfrage nach internationalen Ko-Patenten und Ko-Publikationen durchgeführt, um die Intensität der Einbindung dieser Länder in internationale Forschungsnetzwerke zu ermitteln. Eine Berücksichtigung weiterer Schwellenländer hätte für die Analyse keinen deutlichen Mehrwert geschaffen, da die Innovationsaktivitäten der weiteren Länder zu gering sind.

2.1.1 Grundlagenorientierte Forschung

Als Indikator für den Output der grundlagenorientierten Forschung im Bereich der Umwelttechnik werden wissenschaftliche Publikationen herangezogen. Ko-Publikationen von Wissenschaftlern aus verschiedenen Ländern werden als internationale Ko-Publikationen bezeichnet und dienen als Indikator für die Einbindung eines Landes in internationale Forschungsnetzwerke. Ausschlaggebend für die Zuordnung einer Publikation zu einem bestimmten Land ist der Sitz des Arbeitgebers (i. d. R. Universität, Forschungsinstitut oder Unternehmen).

Tabelle 1: Entwicklung der Anzahl internationaler Ko-Publikationen im Bereich Umwelttechnologie nach Ländergruppen 2000 - 2017

	Periode 1 2000-2005	Periode 2 2006-2011	Periode 3 2012-2017	Wachstum P1 → P2	Wachstum P2 → P3
Nord-Nord	6.102	11.865	22.304	94 %	88 %
Nord-Süd	2.678	7.795	22.794	191 %	192 %
Süd-Süd	204	1.064	3.544	422 %	233 %
Summe	8.984	20.724	48.642	131 %	135 %

Quelle: Fraunhofer ISI basierend auf Web of Science

Tabelle 1 zeigt Entwicklung und Struktur der internationalen Ko-Publikationen für die beiden oben genannten Ländergruppen Nord und Süd. Dazu wurden die Jahre 2000 - 2017 herangezogen und in drei Perioden (P) zu je sechs Jahren unterteilt. Insgesamt zeigt sich eine starke Zunahme der Ko-Publikationsaktivitäten, die sich in der zweiten Betrachtungsperiode nochmals

³ Hierzu wurden Patentanmeldungen bei der WIPO und dem Europäischen Patentamt (EPO) erfasst und doppelte Anmeldungen herausgerechnet.

steigert (Wachstum um 131 % bzw. 135 %). Die Ko-Publikationen von Wissenschaftlern aus dem Norden verdoppeln sich fast zwischen jeder der drei Perioden. Dieses starke Wachstum wird aber vom Wachstum bei Nord-Süd-Ko-Publikationen noch deutlich übertroffen: Letztere haben sich zwischen den drei Perioden jeweils fast verdreifacht. Die Dominanz der Nord-Nord-Kooperationen verschwindet daher über die Zeit. In der aktuellsten Periode sind die Nord-Süd-Kooperationen mit 47 % Anteil an allen internationalen Ko-Publikationen zahlenmäßig ebenbürtig zu den Nord-Nord-Kooperationen mit 46 %. Reine Süd-Süd Ko-Publikationen waren in der ersten Periode (2000-2005) noch ein Nischenphänomen, sind aber inzwischen aufgrund ihres starken Wachstums zu einem wichtigen Element der internationalen Forschung geworden. Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass die Nord-Gruppe zwei Länder mehr aufweist als die Süd-Gruppe.

Tabelle 2 schlüsselt die Entwicklung der internationalen Ko-Publikationen nach den entsprechenden Ländern auf (sortiert nach der Anzahl der Ko-Publikationen in der aktuellsten Periode). Das stark wachsende Aktivitätsniveau der Länder des Südens spiegelt sich besonders stark in der Entwicklung der Ko-Publikationen Chinas wider; aber auch südliche Länder mit niedrigerem absoluten Niveau - wie Südkorea, Indien und Singapur - treiben diese Entwicklung. Unter den Ländern des Nordens konnten die Schweiz und die USA die Zahl ihrer internationalen Ko-Publikationen über den gesamten Zeitraum besonders stark steigern. Deutschland und Japan bleiben, bezogen auf das Wachstum der internationalen Ko-Publikationen, dagegen relativ deutlich hinter den anderen Industrieländern zurück.

Um die Angaben aus Tabelle 2 ins Verhältnis zur gesamten Publikationsaktivität bei Umwelttechnologien setzen zu können, werden in Tabelle 3 die Werte für die Gesamtzahl der Umwelttechnologie-Publikationen in den betrachteten Zeiträumen berichtet. Ebenso wird die Spezialisierung der Länder auf Umwelttechnologien, gemessen an ihrem relativen Veröffentlichungsanteil (RVA)⁴, für die drei Zeiträume angegeben.

Tabelle 2: Anzahl internationaler Ko-Publikationen bei Umwelttechnologien auf Länderebene 2000 - 2017

Land	Periode 1 2000-2005	Periode 2 2006-2011	Periode 3 2012-2017	Wachstum P1 → P2	Wachstum P2 → P3	Wachstum P1 → P3
USA	4.079	8.934	20.561	119 %	130 %	404 %
China	1.033	4.204	15.313	307 %	264 %	1.382 %
Großbritannien	1.861	4.060	9.275	118 %	128 %	398 %
Deutschland	2.362	4.461	8.935	89 %	100 %	278 %
Frankreich	1.377	3.027	5.721	120 %	89 %	315 %
Kanada	1.231	2.737	5.515	122 %	101 %	348 %
Italien	1.057	2.231	4.840	111 %	117 %	358 %
Japan	1.261	2.309	4.631	83 %	101 %	267 %

⁴ Die Spezialisierung bezieht sich auf den Periodenmittelwert des Spezialisierungsindikators (RVA - Relativer Veröffentlichungsanteil) der betreffenden Jahre. Der Spezialisierungsindikator wird gebildet, indem der Anteil des betrachteten Landes an der Anzahl der Publikationen p im Bereich der Umwelttechnologien in Relation zum Anteil des Landes an allen Publikationen gesetzt wird. Für jedes Land i und Technologie j wird der Indikator nach unten genannter Formel berechnet. Werte zwischen -100 und 0 zeigen eine negative, Werte zwischen 0 und +100 eine positive Spezialisierung an. Bei Werten um 0 liegt keine Spezialisierung vor.

$$RVA_{ij} = 100 * \tanh \ln \left[\left(\frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}} \right) / \left(\frac{\sum_j p_{ij}}{\sum_{ij} p_{ij}} \right) \right].$$

Land	Periode 1 2000-2005	Periode 2 2006-2011	Periode 3 2012-2017	Wachstum P1 → P2	Wachstum P2 → P3	Wachstum P1 → P3
Südkorea	572	1.804	4.298	215 %	138 %	651 %
Niederlande	952	1.963	4.207	106 %	114 %	342 %
Schweiz	702	1.803	3.717	157 %	106 %	429 %
Indien	366	1.176	3.198	221 %	172 %	774 %
Singapur	145	602	2.033	315 %	238 %	1302 %
Brasilien	283	745	2.022	163 %	171 %	614 %
Taiwan	214	690	1.633	222 %	137 %	663 %
Russland	473	702	1.385	48 %	97 %	193 %

Anm.: Länder des Nordens in blau, Sortierung nach Spalte „Periode 3...“, Deutschland fett hervorgehoben.

Quelle: Fraunhofer ISI basierend auf Web of Science

In der ersten betrachteten Periode (2000 - 2005) hatten die USA mit Abstand die meisten Publikationen zu Umwelttechnologien. Deutschland lag direkt dahinter auf Rang 2. Inzwischen hat China die USA überholt und liegt auf Platz 1. Deutschland kann sich hinter den USA auf Platz 3 behaupten. Auffällig ist, dass das Spezialisierungsmaß für alle Länder des Nordens (mit Ausnahme Italiens) einen negativen Trend aufweist und inzwischen negativ ausfällt, wenn auch zu meist nur leicht. Das könnte darauf hinweisen, dass sich die grundlagenorientierte Forschung der nördlichen Länder stärker Themen außerhalb der Umwelttechnologien zuzuwenden scheint. Dies gilt auch für Deutschland, wobei die Spezialisierungswerte nicht deutlich in die eine oder andere Richtung ausgeprägt sind. Auffällig ist außerdem, dass mit Ausnahme Russlands die Publikationsaktivitäten der Länder des Südens inzwischen durchgängig positiv auf Umwelttechnologien spezialisiert sind, und dies überwiegend mit RVA-Werten über 15.

Wie Abbildung 1 zeigt, ist der Anteil der internationalen Ko-Publikationen an allen Publikationen im Bereich Umwelttechnologien insbesondere für kleine Länder wie die Schweiz und die Niederlande hoch. In der Schweiz sind drei von vier Publikationen internationale Ko-Publikationen, bei Deutschland ist es immerhin jede zweite. Damit liegt Deutschland im Mittelfeld der Länder des Nordens. Der Anteil hat bei fast allen betrachteten Ländern zugenommen. Die meisten Länder des Südens liegen mit ihrem Anteil jedoch immer noch am unteren Ende der Skala. Trotz der deutlichen Zunahme ihrer internationalen Ko-Publikationen (s. oben) zeigt dies, dass sie in der grundlagenorientierten Forschung zu Umwelttechnologien international weniger vernetzt sind als der Norden.

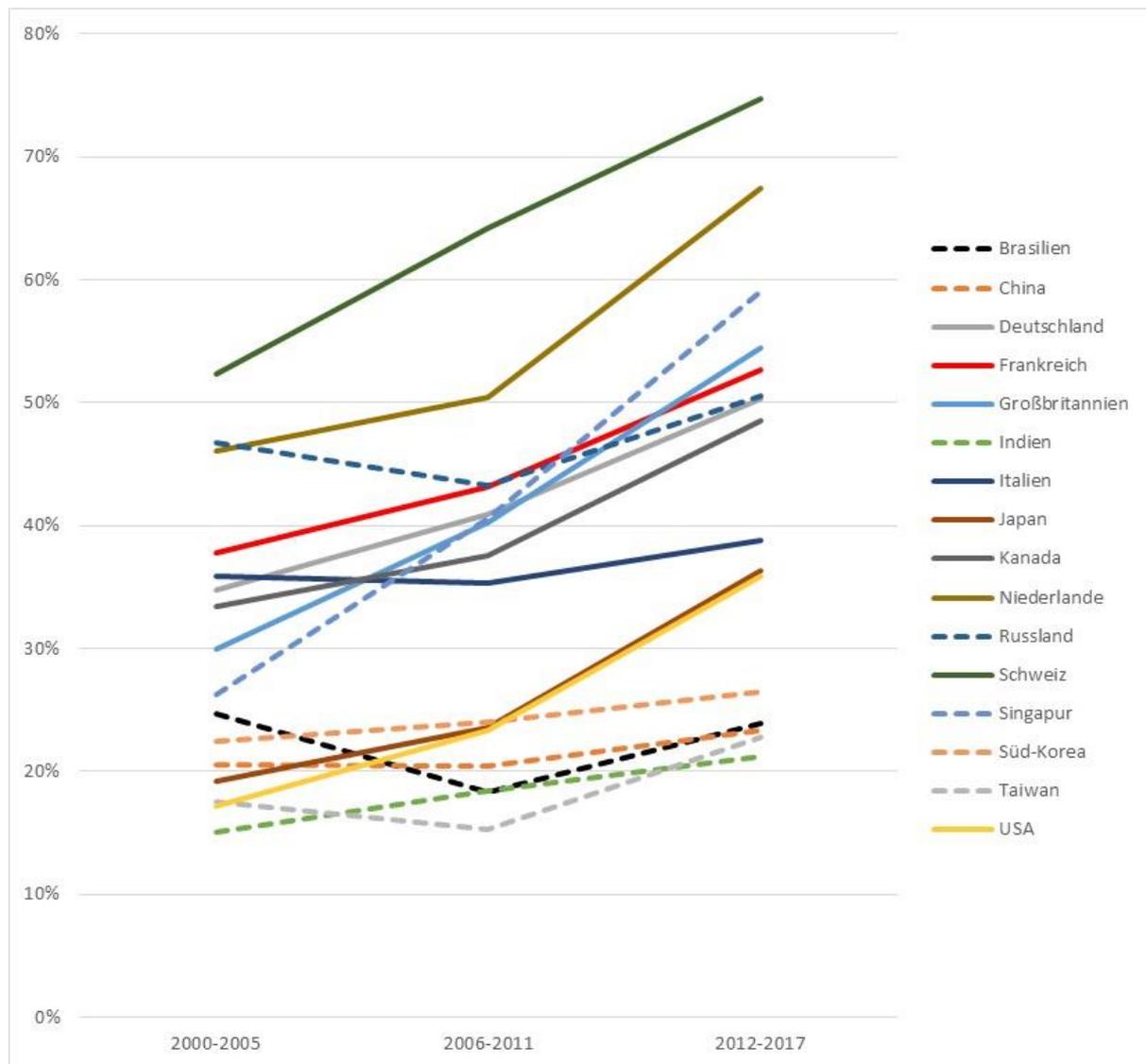
Tabelle 3: Anzahl der akademischen Publikationen im Bereich der Umwelttechnologie und Spezialisierung der Publikationsaktivitäten auf Umwelttechnologie

	Anzahl 2000-2005	Anzahl 2006-2011	Anzahl 2012-2017	RVA 2000-2005	RVA 2006-2011	RVA 20012-2017
China	5.034	20.560	65.532	14,5	21,3	24,4
USA	23.787	38.247	57.248	-5,1	-19,0	-28,7
Deutschland	6.792	10.893	17.739	7,6	-8,2	-14,3
Großbritan- nien	6.204	10.079	17.023	-10,5	-24,2	-28,5
Süd-Korea	2.555	7.498	16.224	34,3	38,8	41,1
Indien	2.427	6.386	15.073	27,1	17,8	24,1
Japan	6.560	9.797	12.757	-1,7	-5,9	-16,4
Italien	2.949	6.316	12.483	-11,1	-10,2	-3,9
Kanada	3.685	7.291	11.370	8,1	-0,4	-12,2
Frankreich	3.646	7.018	10.863	-21,7	-20,3	-26,5
Brasilien	1.148	4.065	8.467	-6,9	-1,6	3,2
Taiwan	1.224	4.509	7.172	6,8	32,5	32,9
Niederlande	2.068	3.889	6.241	7,8	-3,5	-20,0
Schweiz	1.340	2.806	4.978	-2,4	-3,9	-13,7
Singapur	552	1.482	3.446	19,8	24,9	32,9
Russland	1.013	1.621	2.740	-65,9	-67,6	-68,3

Anm.: Länder des Nordens in Blau, Sortierung nach Spalte „Anzahl 2012-2017“, Deutschland fett hervorgehoben.

Quelle: Web of Science, Fraunhofer ISI

Abbildung 1: Anteil der internationalen Ko-Publikationen an allen Publikationen im Bereich Umwelttechnologie

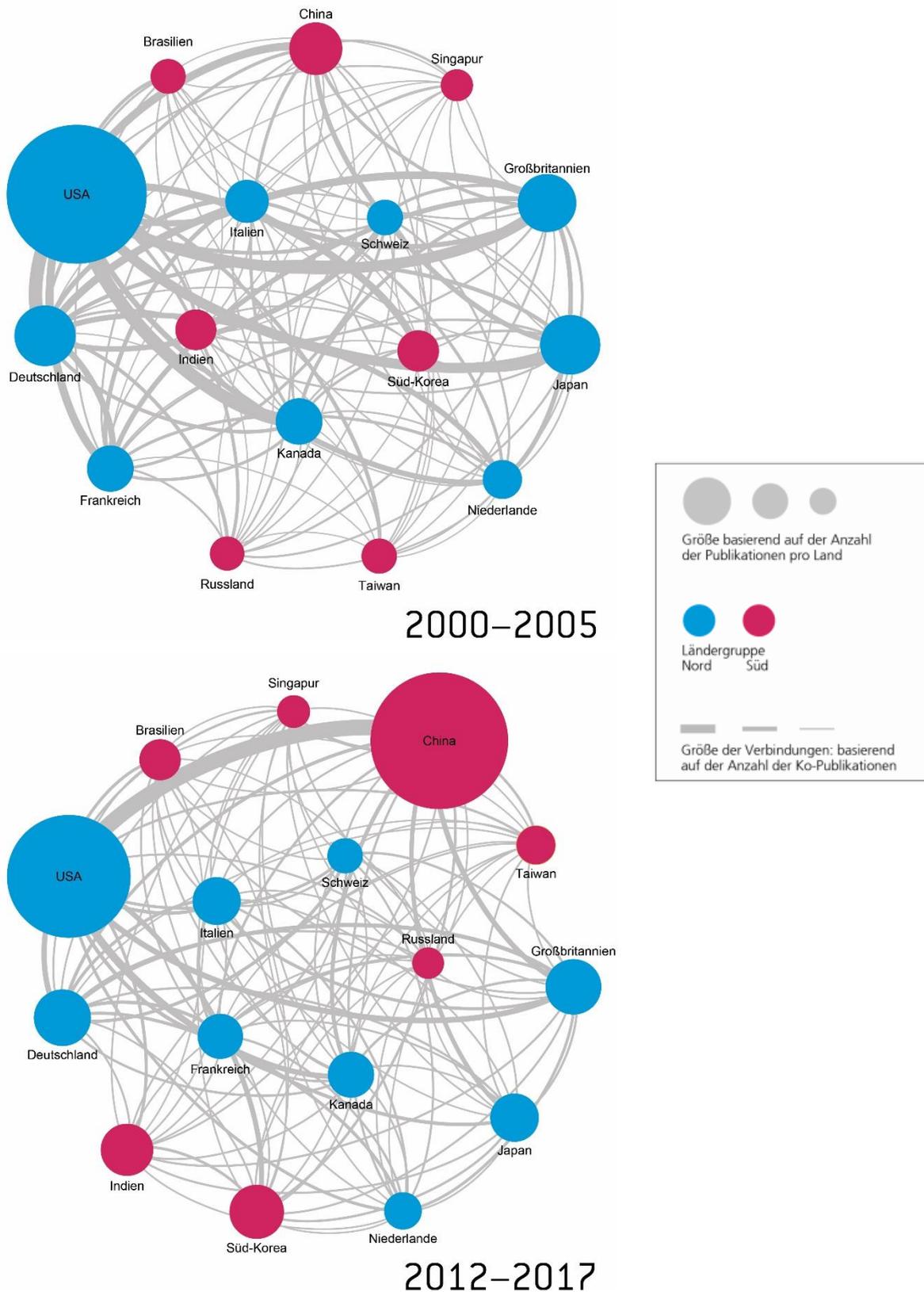


Quelle: Web of Science, Fraunhofer ISI

Abbildung 2 zeigt für jedes der 16 Länder die Summe der wissenschaftlichen Publikationen im Bereich Umwelttechnologien (Größe der Kreise), die Zugehörigkeit zur Ländergruppe Nord oder Süd (Farbe der Kreise) und die Anzahl der internationalen Ko-Publikationsaktivitäten (Stärke der Linie zwischen zwei Ländern) für die beiden Perioden 2000-2005 und 2012-2017.⁵

⁵ Abbildung für 2006 - 2011 s. Anhang, Abbildung 6.

Abbildung 2: Publikationen und Ko-Publikationen bei Umwelttechnologie im Periodenvergleich 2000-2005 und 2012-2017



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI basierend auf Daten von Web of Science

Bei den Ko-Publikationen war die Zusammenarbeit zwischen den USA und Deutschland im ersten Betrachtungszeitraum, absolut betrachtet, am intensivsten innerhalb des gesamten Netzwerks (599 Ko-Publikationen). Die nächststärksten Ko-Publikationsverbindungen (in absteigender Reihenfolge) bestanden zwischen USA und den Ländern Kanada (584 Ko-Publikationen), Großbritannien (478 Ko-Publikationen), Japan (435 Ko-Publikationen), China (329 Ko-Publikationen) und Frankreich (ebenfalls 329 Ko-Publikationen). Das sind im Zeitraum 2000-2005 die Länder, die gleichzeitig am stärksten überhaupt in dem Thema publizieren. Deutschlands Ko-Publikationen fanden neben den USA vor allem auch mit Großbritannien (316 Ko-Publikationen) und Frankreich (252 Ko-Publikationen) statt. Die Ko-Publikationen Deutschlands mit „Ländern des Südens“ sind in dieser Periode am stärksten mit Russland ausgeprägt (113 Ko-Publikationen), gefolgt von China (94 Ko-Publikationen).

In der aktuellen Periode 2012-2017 hat sich das Bild in mancher Hinsicht deutlich gewandelt, zeigt aber auch stabile Merkmale. Die intensivste Ko-Publikationsbeziehung ist nun mit Abstand die zwischen den USA und China (6.694 Ko-Publikationen im Vergleich zu 329 Ko-Publikationen in der ersten Periode). Die nächststärkeren Ko-Publikationsbeziehungen involvieren wie bisher jeweils die USA und betreffen Großbritannien (1.934 Ko-Publikationen), Deutschland (1.762 Ko-Publikationen) und Kanada (1.762 Ko-Publikationen). Für Deutschland waren in der Periode 2012-2017 nach den USA wie bisher schon Großbritannien (1.220 Ko-Publikationen) und Frankreich (885 Ko-Publikationen) die wichtigsten Partnerländer, nun aber dicht gefolgt von China (872 Ko-Publikationen). Weitere Länder des Südens folgen erst mit deutlichem Abstand, wobei Russland hier nach wie vor eine starke Rolle spielt (297 Ko-Publikationen), gefolgt von Indien und Süd-Korea. Sowohl aus der Sicht Deutschlands als auch mit Blick auf das Gesamtbild ist der Aufstieg Chinas und seine stärkere internationale Vernetzung wohl die deutlichste Veränderung.

2.1.2 Anwendungsorientierte Forschung

Patentanmeldungen werden herangezogen, um den Output der anwendungsorientierten Forschung im Bereich der Umwelttechnologien zu messen. Als internationale Ko-Patente werden solche Patente bezeichnet, die aus der Zusammenarbeit von Erfindern hervorgehen, die ihren Wohnsitz in unterschiedlichen Ländern haben. Tabelle 4 zeigt, wie sich Anzahl und Struktur der internationalen Ko-Patente über die drei betrachteten Zeiträume hinweg entwickelt haben. Zunächst einmal lässt sich feststellen, dass die Dynamik der Entwicklung wesentlich schwächer ist als bei den Ko-Publikationen und dass das Wachstum - anders als bei Ko-Publikationen - abnimmt (31 % und 15 % Wachstum im Vergleich zu 131 % und 135 %). Ein weiterer Unterschied ist, dass zwischen den Nord-Nord Ko-Patenten und den Nord-Süd Ko-Patenten auch in der aktuellen Periode 2012-2017 noch ein deutlicher, wenn auch leicht abnehmender Abstand herrscht. Die Nord-Nord Ko-Patente dominieren durchgängig das Bild mit einem Anteil an allen Ko-Patenten von 84 %, 75 % und 71 % in den Perioden 1, 2, und 3. Bei der Dynamik zeigt sich jedoch ein sehr ähnliches Muster: Das stärkste Wachstum zeigen die Süd-Süd Ko-Patente, allerdings noch auf einem sehr niedrigen Niveau. Trotz ihres starken Wachstums erreichen sie aktuell (2012-2017) nur einen geringen Anteil an den Ko-Patenten (2 %) und liegen damit noch unter ihrem Anteil an den Ko-Publikationen (7 %). Am zweitstärksten ist die Dynamik bei den Nord-Süd Ko-Patenten. Wie schon bei den Ko-Publikationen ist bei der Interpretation dieser Daten zu beachten, dass die Nord-Gruppe zwei Länder mehr aufweist als die Süd-Gruppe.

Tabelle 4: Entwicklung und Struktur der internationalen Ko-Patente bei Umwelttechnologien

	Periode 1 2000-2005	Periode 2 2006-2011	Periode 3 2012-2017	Wachstum P1 → P2	Wachstum P2 → P3
Nord-Nord	4.740	5.525	5.992	17 %	8 %
Nord-Süd	872	1.753	2.320	101 %	32 %
Süd-Süd	30	96	159	220 %	66 %
Summe	5.642	7.374	8.471	31 %	15 %

Quelle: Patstat, Fraunhofer ISI

Tabelle 5 schlüsselt die Entwicklung der internationalen Ko-Patente bei Umwelttechnologien weiter nach einzelnen Ländern auf. Gemessen an der absoluten Anzahl internationaler Ko-Patente schafft es nur China, auf das Niveau des Nordens vorzudringen. Es liegt mit aktuell Rang 6 (2012-2017) aber nicht so weit vorn wie bei Ko-Publikationen (Rang 2).

Tabelle 5: Entwicklung der internationalen Ko-Patente bei Umwelttechnologien auf Länder-ebene

Land	Periode 1 2000-2005	Periode 2 2006-2011	Periode 3 2012-2017	Wachstum P1 → P2	Wachstum P2 → P3	Wachstum P1 → P3
USA	3.488	3.969	4.589	14 %	16 %	32 %
Deutschland	2.629	3.592	3.962	37 %	10 %	51 %
Frankreich	1.127	1.591	1.779	41 %	12 %	58 %
Schweiz	828	1.046	1.374	26 %	31 %	66 %
Großbritannien	1.163	1.303	1.357	12 %	4 %	17 %
China	277	775	941	180 %	21 %	240 %
Niederlande	664	1.012	901	52 %	-11 %	36 %
Kanada	648	692	888	7 %	28 %	37 %
Japan	523	645	824	23 %	28 %	58 %
Italien	414	557	723	35 %	30 %	75 %
Indien	116	359	695	209 %	94 %	499 %
Süd-Korea	159	217	310	36 %	43 %	95 %
Singapur	78	204	256	162 %	25 %	228 %
Russland	264	224	195	-15 %	-13 %	-26 %
Brasilien	87	111	120	28 %	8 %	38 %
Taiwan	46	81	117	76 %	44 %	154 %

Anm.: Länder des Nordens in blau, Sortierung nach Spalte „Periode 3...“, Deutschland fett hervorgehoben.

Quelle: Patstat, Fraunhofer ISI

Bezüglich der Dynamik zeigt sich, dass Indien, China und Singapur im Vergleich der ersten beiden Perioden das stärkste Wachstum der Ko-Patente zu verzeichnen hatten. Dies hat sich im

Vergleich der zweiten und dritten Periode verlagert. Indien bleibt Spitzenreiter; es folgen aber nun die Länder Taiwan und Südkorea, danach Länder des Nordens (Schweiz, Italien). Ähnlich wie bei den Ko-Publikationen zeigt sich, dass die Dynamik in erster Linie von den Schwellenländern ausgeht. Bei den Industrieländern war das Wachstum der Ko-Patente im Vergleich der Perioden 1 und 3 in Italien am stärksten, gefolgt von der Schweiz sowie Japan und Frankreich. Anders als bei Ko-Publikationen gibt es auf dem Gebiet der Ko-Patente mit Russland auch ein Land, bei dem die Internationalisierung der anwendungsorientierten Forschung in beiden Perioden absolut rückläufig ist. Auch die Niederlande verzeichnen aktuell einen Rückgang ihrer Ko-Patente im Bereich Umwelttechnologien.

Die Ko-Patentaktivitäten deutscher Erfinder sind in Periode 3 gegenüber Periode 1 um insgesamt 51 % gewachsen. Damit liegt Deutschland zwar hinter Italien, der Schweiz, Frankreich und Japan, angesichts des hohen Ausgangsniveaus und im Vergleich zu weiteren etablierten Industrieländern wie USA und Großbritannien erreicht die Internationalisierung der Patentaktivitäten Deutschlands aber ein durchaus hohes Niveau.

Um die Ko-Patentzahlen ins Verhältnis zur Anzahl der Umweltpatente setzen zu können, werden auch hier die Patentzahlen auf Länderebene und die Spezialisierung der Länder auf Umweltpatente, gemessen an ihrem relativen Patentanteil (RPA)⁶, berichtet (vgl. Tabelle 6). Bezogen auf die Anzahl der Patente zeigt sich ein deutlicher Vorsprung Japans, der USA und Deutschlands vor den anderen Ländern, der auch im Zeitverlauf erhalten bleibt. Allerdings übernimmt Japan aufgrund des geringen Anstiegs der Patente in den USA ab der zweiten Periode die Spitzenposition. Hiermit im Einklang steht eine deutliche Spezialisierung des japanischen Innovationssystems auf anwendungsorientierte Forschung im Bereich der Umwelttechnologie (positive RPA-Werte über 15), während die entsprechende Spezialisierung in den USA und ebenso in den Schwellenländern China, Indien und Taiwan deutlich negativ ist. Süd-Korea und Singapur weisen keine klare Spezialisierung auf. Dagegen haben Russland und Brasilien zu Beginn des Betrachtungszeitraums signifikant positive Spezialisierungsvorteile. Diese schmelzen allerdings im Lauf der Zeit etwas ab. Über die Länder des Nordens ist das Bild mit Ausnahme Japans und der USA gemischt mit überwiegend leicht positiven Spezialisierungswerten im aktuellen Zeitraum 2012-2017.

Deutschland kann seinen dritten Rang bei der Anzahl der Umweltpatente über den gesamten Betrachtungszeitraum halten. Inzwischen folgen auf den Rängen 4 und 5 zwei Länder des Südens, China und Süd-Korea, bevor sich die restlichen Länder des Nordens deutlich geführt von Frankreich einreihen. Die Spezialisierung Deutschlands ist leicht positiv, aber nicht deutlich ausgeprägt (positive RPA-Werte unter 15).

⁶ Die Berechnung des Spezialisierungsindikators bei den Patenten (RPA - Relativer Patent Anteil) erfolgt analog zur Berechnung der Spezialisierung bei den akademischen Veröffentlichungen. Siehe hierzu Fußnote 4.

Tabelle 6: Entwicklung der Anzahl der Patente bei Umwelttechnologien und der Spezialisierung auf Umwelttechnologie auf Länderebene

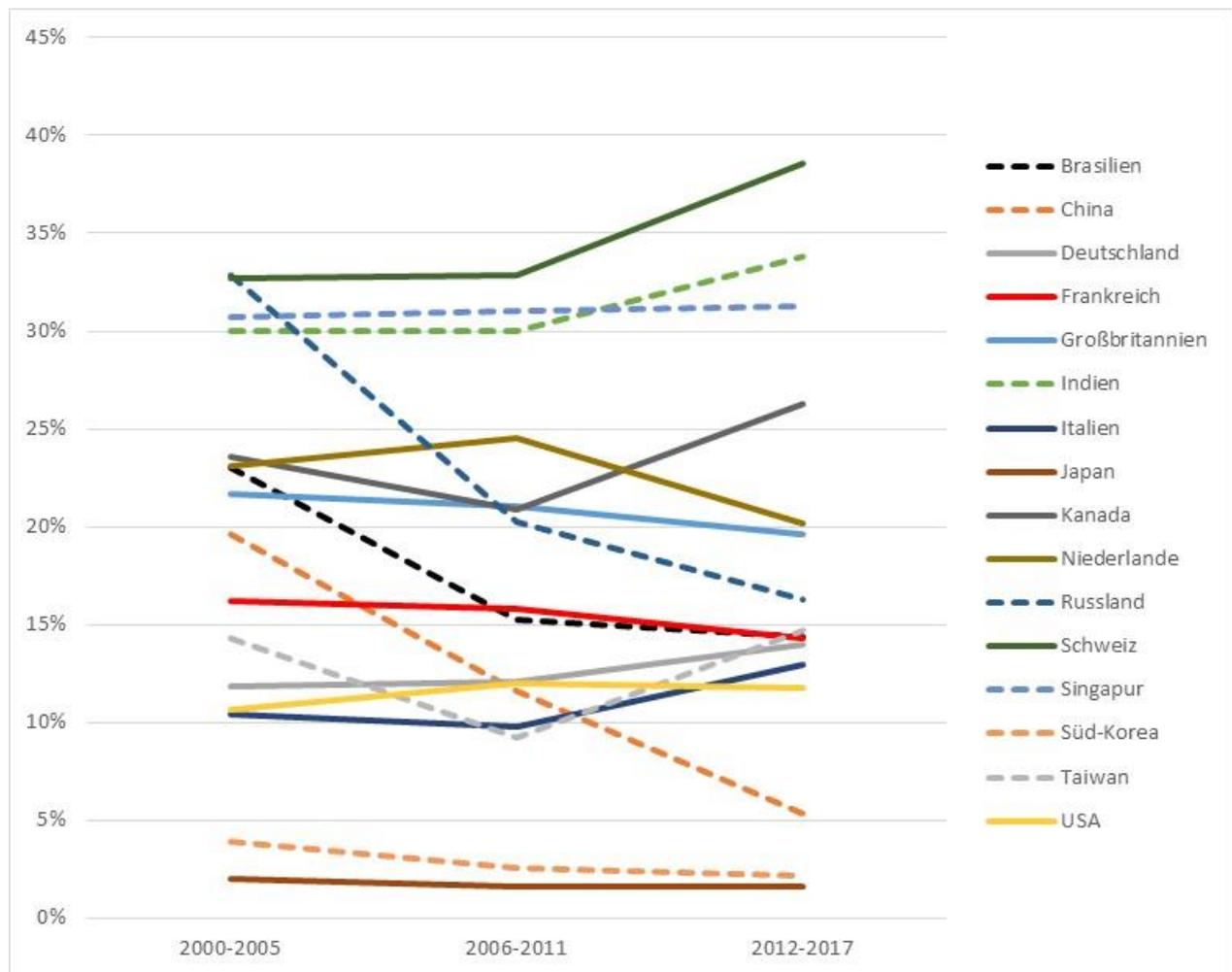
	Anzahl 2000-2005	Anzahl 2006-2011	Anzahl 2012-2017	RPA 2000-2005	RPA 2006-2011	RPA 20012-2017
Japan	26.368	40.043	50.372	18,8	20,6	23,1
USA	32.839	32.992	38.945	-19,0	-32,5	-28,1
Deutschland	22.159	29.670	28.278	9,8	14,8	13,9
China	1.413	6.697	17.632	-19,8	-29,7	-44,8
Süd-Korea	4.102	8.480	14.516	8,9	-8,5	9,0
Frankreich	6.948	10.078	12.435	-3,2	5,4	20,9
Großbritannien	5.368	6.192	6.908	-14,5	-13,3	-4,5
Italien	3.961	5.716	5.574	4,3	15,2	15,9
Niederlande	2.870	4.126	4.467	-11,8	11,2	11,0
Schweiz	2.535	3.180	3.566	-11,9	-19,9	-12,1
Kanada	2.747	3.316	3.377	7,7	-6,5	0,0
Indien	387	1.197	2.055	-48,0	-39,0	-22,9
Russland	804	1.107	1.196	32,5	23,2	12,6
Brasilien	378	726	834	37,5	27,8	18,4
Singapur	254	657	818	-41,9	-5,3	-4,7
Taiwan	321	879	795	-23,7	-14,3	-38,6

Anm.: Länder des Nordens in blau, Sortierung nach Spalte „Anzahl 2012-2017“, Deutschland fett hervorgehoben.

Quelle: Patstat, Fraunhofer ISI

Die Ko-Patente spielen in den verschiedenen Ländern eine sehr unterschiedliche Rolle (vgl. Abbildung 3), die auch von der Größe eines Landes, seiner geographischen Lage sowie seiner Attraktivität als Forschungsstandort und Markt geprägt ist. Asiatische Länder haben generell eine niedrigere Ko-Patentierungsneigung. So ist auch der Anteil der Umwelt-Ko-Patente in Japan und Südkorea eher gering und beläuft sich auf nur jeweils 2 % in Periode 3 (2012-2017). In Deutschland liegt der Anteil im Vergleich dazu bei 14 %, den höchsten Anteil hat die Schweiz mit 39 %, gefolgt von Indien mit 34 %. Der Anteil der internationalen Ko-Patente an allen Umwelttechnologiepatenten ist in vielen Ländern rückläufig, besonders stark in China. Dieser Rückgang geschieht allerdings vor dem Hintergrund absolut steigender Umwelt-Ko-Patente und noch stärker steigender Zahlen bei Umweltpatenten. Das heißt, die rein nationalen Kompetenzen steigen stärker als die Kompetenzen, die sich in Ko-Patenten (zumeist in der Kooperation multinationaler Unternehmen) ausdrücken. Eine ähnliche Entwicklung hin zu zunehmender Autonomie wird für Chinas technologische Entwicklung auch im Allgemeinen festgestellt (vgl. Kroll et al. 2021). In Deutschland ist der Anteil internationaler Ko-Patente an allen Umwelttechnologie-Patenten leicht gestiegen.

Abbildung 3: Anteil internationaler Ko-Patente an allen Patenten im Bereich Umwelttechnologie



Quelle: PATSTAT, Fraunhofer ISI

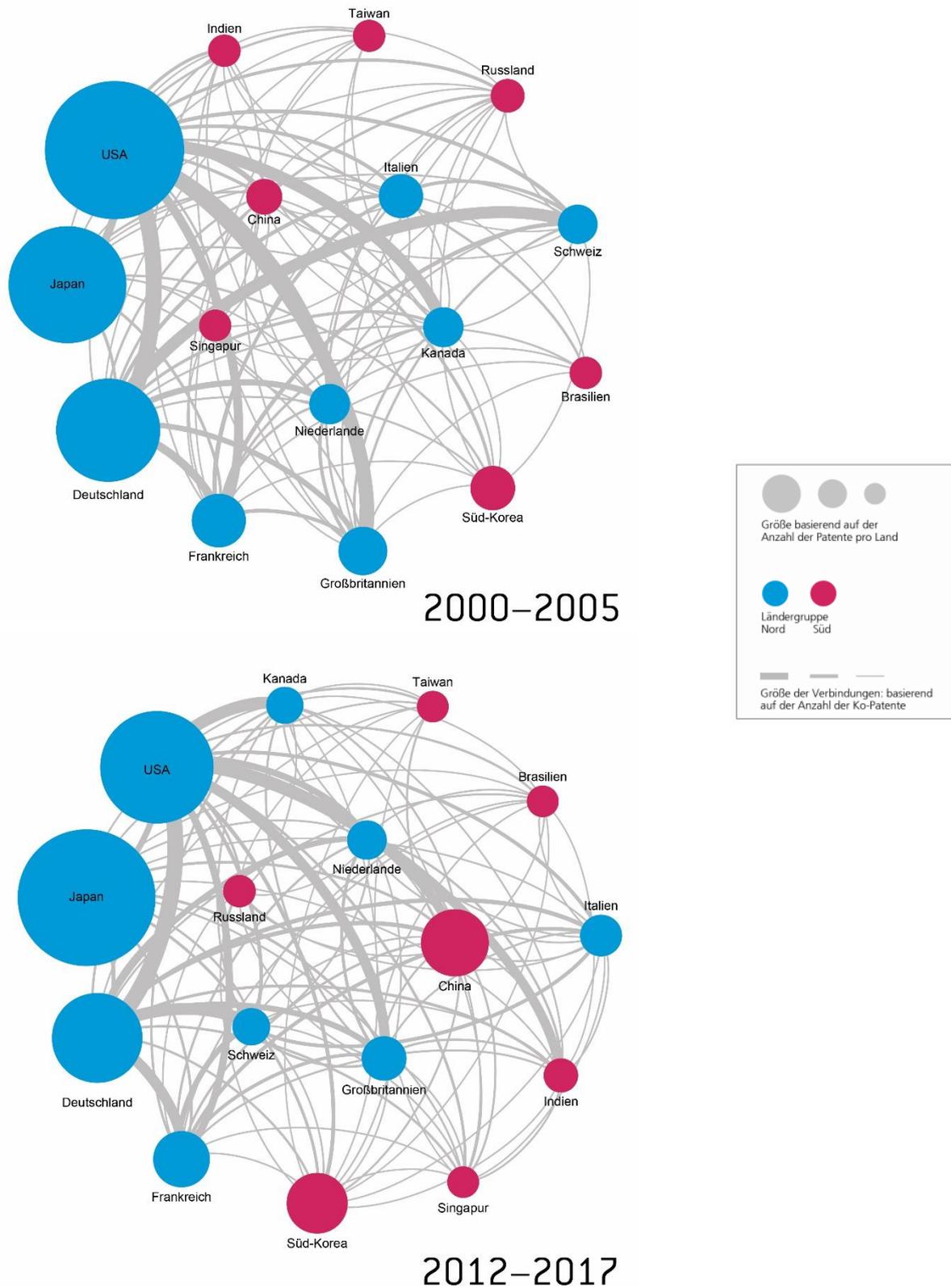
Abbildung 4 zeigt für jedes der 16 Länder die Anzahl der Umwelttechnologiepatepte (Größe der Kreise), die Zugehörigkeit zur Ländergruppe Nord oder Süd (Farbe der Kreise) und die Intensität der internationalen Ko-Patentaktivitäten (Stärke der Linien) für die beiden Perioden 2000-2005 und 2012-2017.

In der ersten Betrachtungsperiode (2000 - 2005) besteht bei den Ko-Patenten - wie schon bei den Ko-Publikationen - die stärkste Verbindung zwischen den USA und Deutschland (615 Ko-Patente). Die zwei nächst stärksten Ko-Patentverbindungen betreffen ebenfalls die USA und involvieren die Länder Großbritannien (543 Ko-Patente) und Kanada (455 Ko-Patente) - auch dies ist sehr ähnlich zum Ko-Publikationsmuster. Deutschland ist ebenfalls stark vernetzt. Nach den USA zählen die Ko-Patentverbindungen zu der Schweiz, Frankreich, den Niederlanden und Großbritannien zu den 10 am stärksten ausgeprägten Ko-Patentvernetzungen im gesamten Netzwerk. Die Ko-Patente mit Ländern des Südens sind - wie bei den Publikationen - in dieser Periode am stärksten mit Russland ausgeprägt (47 Ko-Patente), gefolgt von China (35 Ko-Patente). Die Vernetzung Chinas ist in dieser Periode noch schwach, aber bereits zu diesem Zeitpunkt sind die USA Chinas stärkster Ko-Patent-Partner (159 Ko-Patente), mit Abstand gefolgt von Japan und Deutschland (jeweils 35 Ko-Patente mit China).

⁷ Abbildung für den Zeitraum 2006-2011 s. Anhang, Abbildung 7.

In der aktuellen Periode 2012-2017 bleibt die Vernetzung zwischen den USA und Deutschland mit 787 Ko-Patenten die stärkste Verbindung im gesamten Netzwerk. Deutschland ist weiterhin stark vernetzt, was die vielen dicken von Deutschland ausgehenden Verbindungslinien zeigen. Die wichtigsten Partnerländer für Deutschland sind unverändert neben den USA - in absteigender Reihenfolge - die Schweiz (570 Ko-Patente), Frankreich (499 Ko-Patente), Großbritannien (242 Ko-Patenten) und die Niederlande (233 Ko-Patente). Die Ko-Patente zwischen Deutschland und China sind deutlich gestiegen (von 35 auf 157 Ko-Patente). Was die Länder des Südens betrifft, ist China der wichtigste Ko-Patent-Partner Deutschlands, mit deutlichem Abstand gefolgt von Indien, Singapur und Süd-Korea. Asien hat hier also deutlich an Bedeutung gewonnen - für Deutschland, aber auch als Ko-Patentpartner, z. B. für die USA. Der Anstieg der Ko-Patente der USA mit China (von 159 in Periode 1 auf 435 in Periode 3) und Indien (von 67 in Periode 1 auf 433 in Periode 3) ist besonders markant.

Abbildung 4: Patente und Ko-Patente bei Umwelttechnologie im Periodenvergleich 2000-2005 und 2012-2017



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI basierend auf Daten aus Patstat

2.1.3 Zwischenfazit

Folgende Ergebnisse können aus der Analyse der Innovationsindikatoren festgehalten werden:

- ▶ Für den betrachteten Zeitraum 2000-2017 ist die zunehmende Bedeutung von Asien als Innovationstandort für Umwelttechnologien klar zu erkennen.
- ▶ Die Gruppe der Schwellenländer ist sehr heterogen hinsichtlich ihrer Entwicklung und Einbettung in globale F&E-Netzwerke.
 - China zeichnet sich durch hohes Wachstum sowohl bei Ko-Publikationen als auch bei Ko-Patenten aus. Der Anteil seiner Ko-Patente an allen Umweltpatenten nimmt aber stark ab, was ähnlich wie bei Japan auf Isolationismus bei den Patentaktivitäten hinweist. Auch Süd-Korea lässt solche isolationistischen Tendenzen erkennen.
 - Singapur, Indien und Taiwan verzeichnen auf niedrigem Niveau ebenfalls ein hohes Wachstum bei Ko-Patenten und Ko-Publikationen, sind aber in der anwendungsorientierten Forschung offen für internationale Kooperationen.
 - Brasilien und Russland verzeichnen eine schwache bis negative Entwicklung ihrer Einbettung in globale Netzwerke der anwendungsorientierten Forschung. Bei der grundlagenorientierten Forschung ist das Bild etwas besser: Brasilien hat hohe Wachstumsraten bei Ko-Publikation, Russland hat einen hohen Anteil von Ko-Publikationen an allen Publikationen.
- ▶ Die Zahl der Publikationen und internationalen Ko-Publikationen ist deutlich stärker gewachsen als die Zahl der Patente und internationalen Ko-Patente.
- ▶ Nord-Nord Ko-Patente und Nord-Nord Ko-Publikationen wachsen vergleichsweise langsam; Nord-Süd-Kooperationen werden bei Patenten, aber insbesondere auch bei Publikationen immer bedeutender. Süd-Süd-Kooperationen sind noch marginal, aber stark wachsend.
- ▶ Die Spezialisierung ist bei den Publikationen für die betrachteten Industrieländer negativ und für die Schwellenländer positiv. Dagegen sind bei den Patenten die USA, China und Indien deutlich negativ spezialisiert; Japan und Deutschland sind dagegen positiv spezialisiert.
- ▶ Deutschlands wichtigste Partnerländer im Bereich der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung sind nach wie vor die USA und die europäischen Nachbarländer (insbesondere Frankreich, Schweiz, Großbritannien und die Niederlande).
 - Publikationen: Deutschland publiziert sehr stark im Bereich Umwelttechnologien, bleibt aber bezogen auf das Wachstum der internationalen Ko-Publikationen relativ deutlich hinter den anderen Industrieländern zurück und ist auf dieses Gebiet nicht spezialisiert. Seine internationalen Ko-Publikationen sind stark gewachsen, so dass inzwischen fast jede zweite Publikation im Bereich der Umwelttechnologien eine internationale Ko-Publikation ist. China ist zu einem wichtigen Partner in den Publikationsaktivitäten geworden.

- Patentaktivitäten: Die Internationalisierung der Patentaktivitäten Deutschlands liegt auf einem hohen Niveau und hat sich über den Betrachtungszeitraum noch gesteigert. Die Ko-Patente zwischen Deutschland und China sind deutlich gestiegen.
- ▶ Gemessen an Ko-Publikationen sind die Kooperationen zwischen Wissenschaftlern aus den USA und China inzwischen von überragender Bedeutung für die grundlagenorientierte Forschung im Bereich der Umwelttechnologie. Bei Patenten sind die Kooperationsbeziehungen zwischen den USA und Deutschland am intensivsten.

2.2 F&E-Standorte deutscher Umwelttechnologiehersteller

Angesichts der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Veränderungen der globalen Innovationslandschaft für Umwelttechnologie wird in diesem Kapitel der Frage nachgegangen, inwieweit sich diese Veränderungen auf die F&E-Aktivitäten von Unternehmen auswirken. Hierzu wurde im Frühsommer 2017 vom Fraunhofer ISI eine Erhebung unter innovativen deutschen Herstellern von Umwelttechnologien durchgeführt (vgl. Gandenberger 2018b). Die Erhebung soll ein möglichst repräsentatives Bild der vorherrschenden Strategien in Bezug auf die räumliche und inhaltliche Ausgestaltung der F&E geben.

Hierzu wurde ein schriftlicher Fragebogen an die F&E-Leitung bzw. die Geschäftsführung von 2.425 Unternehmen versandt, die zwischen 2006 und 2011 ein Umweltpatent angemeldet haben, (Rücklaufquote 9,2 %, n = 224). Der Datensatz wurde durch eine Abfrage der transnationalen und nationalen Patentanmeldungen deutscher Anmelder (Firmensitz in Deutschland) beim Europäischen Patentamt und dem Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) generiert. Die weitergehenden Informationen über die Anmelder stammen direkt aus PATSTAT sowie aus der Hoppenstedt-Firmendatenbank, die mit PATSTAT verknüpft wurde. Die Kopplung erlaubt eine Ermittlung der aktuellen Adressen und Namen der relevanten Kontaktpersonen in den Unternehmen.

Bislang führt nur die Hälfte der antwortenden Unternehmen F&E-Aktivitäten im Ausland durch (112 von 224). Ursächlich hierfür sind laut der Befragung vor allem Risiken, die aus dem drohenden Abfluss von Know-how und der Verletzungen Geistiger Eigentumsrechte entstehen können. Die Unternehmen sollten außerdem basierend auf einer Skala von -2 (starker Rückgang) und 2 (starker Anstieg) angeben, wie sie die zukünftige Entwicklung ihrer F&E-Tätigkeiten im In- und Ausland einschätzen. Dabei wurden nur Unternehmen bzgl. zukünftiger F&E im Ausland befragt, die bereits heute F&E im Ausland betreiben. Aus Tabelle 7 wird deutlich, dass die Neigung, die F&E im Ausland (Mittelwert = 0,77 auf einer Skala von -2 bis 2) in den kommenden fünf Jahren weiter auszubauen, etwas stärker ausgeprägt als dies in Bezug auf die F&E in Deutschland (Mittelwert = 0,45) ist.⁸

⁸ Der Unterschied zwischen den beiden Mittelwerten ist statistisch signifikant $t(324)=-3,215$; $p=0,0014$.

Tabelle 7: Erwartungen bezüglich der Entwicklung der eigenen F&E im Aus- und Inland

	Entwicklung F&E Ausland		Entwicklung F&E Deutschland	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
starker Rückgang	1	0.9 %	8	3.7 %
leichter Rückgang	3	2.7 %	11	5.1 %
bleibt konstant	38	33.9 %	91	42.5 %
leichter Anstieg	49	43.8 %	85	39.7 %
starker Anstieg	21	18.8 %	19	8.9 %
Summe	112	100 %	214	100 %

Quelle: Gandenberger (2018b)

Die wichtigsten Zielländer für F&E-Auslandsinvestitionen spiegeln die Muster wider, die schon bei Ko-Publikationen und Ko-Patenten geschildert wurden: Sie umfassen die europäischen Nachbarländer (37,3 % der Nennungen), gefolgt von China (19,3 %), den USA (17,6 %), Indien (9,8 %), Japan (5,3 %) und Südkorea (2,5 %). Tabelle 8 gibt Auskunft über die Motive für die Durchführung von F&E im Ausland und deren spezifische Funktion im unternehmerischen Innovationsprozess. Hierbei ist das Motiv, die eigene F&E in der Nähe ausländischer Absatzmärkte durchzuführen, am stärksten ausgeprägt (basierend auf den Mittelwerten der Variablen)⁹. An zweiter Stelle wurde die Nähe zu ausländischen Produktionsstandorten genannt. In Bezug auf die Funktionen, die ausländische F&E-Standorte für das Unternehmen erfüllen, wurde an erster Stelle die Anpassung bestehender Produkte bzw. Dienstleistungen an den lokalen Kontext der Zielmärkte genannt, gefolgt von der Unterstützung ausländischer Produktionsstandorte und der Entwicklung neuer Produkte (ebenfalls basierend auf den Mittelwerten).

Mit Hilfe einer ordinalen Regressionsanalyse wurde der Zusammenhang zwischen der Neigung zur Auslandsverlagerung von F&E und den oben diskutierten Motiven betrachtet. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, dass die Neigung F&E ins Ausland zu verlagern, bei den Unternehmen besonders stark ausgeprägt ist, die bei der Befragung die geringeren F&E-Kosten im Ausland als wichtiges Motiv genannt hatten. Weiterhin gibt es Anzeichen dafür, dass tendenziell eher große Unternehmen in ausländische F&E-Standorte investieren und dass hier neben dem Kostenargument auch der Zugang zu den spezifischen Stärken ausländischer Innovationssysteme eine Rolle spielt (vgl. hierzu im Detail Gandenberger 2018b).

⁹ Die Motive waren auf einer 5-stufigen Skala von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 (trifft voll zu) zu bewerten.

Tabelle 8: Motive und Funktionen für F&E im Ausland

	Anzahl der Antworten	Mittelwert	Standardabweichung
Motive			
Nähe zum Absatzmarkt	109	2.98	1.21
Nähe zur Produktion	103	2.28	1.80
Kosten	96	1.77	1.38
Nähe zu wissenschaftlicher Exzellenz	96	1.69	1.36
Nähe zu Lieferanten	100	1.64	1.42
Unternehmenszusammenschluss	93	0.67	1.15
Funktionen			
Anpassung von bestehenden Produkten/Dienstleistungen an den lokalen Kontext	107	2.79	1.26
Unterstützung der Produktion	106	2.28	1.65
Produktinnovation (New to the World)	110	2.11	1.3
Serviceinnovation (New to the World)	100	1.25	1.19

Anm.: Skala von 0 ("trifft überhaupt nicht zu") bis 4 ("trifft voll zu")

Quelle: Gandenberger (2018b)

2.3 Internationaler Handel

Die Analyse des internationalen Handels mit Umwelttechnologien baut auf früheren Arbeiten des Fraunhofer ISI auf (Walz und Köhler 2014; Walz und Marscheider-Weidemann 2011). Thematisch werden die gleichen Umweltbereiche betrachtet, die auch der Analyse der Publikationen und Patente zugrunde liegen¹⁰. Als Datenbasis dient die UN-COMTRADE Datenbank. Die Umwelttechnologiebereiche wurden in der ihr zugrunde liegenden Klassifikation (HS 2020¹¹) definiert. Basierend auf der Länderklassifikation¹² der Weltbank wurden die folgenden neun Handelsflüsse unterschieden (Walz et al. 2017):

¹⁰ Dies sind Nachhaltige Energieerzeugung, Energieeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Wasser/Abwasser (vgl. Abschnitt 2.1). Aus den unterschiedlichen statistischen Klassifikationen, die den Publikations-, Patent- und Außenhandelsdaten zugrunde liegen, resultieren gewisse Unschärfen, die dazu führen, dass die Umweltbereiche je nach Datenquelle etwas unterschiedlich gefüllt sind. Auf aggregierter Ebene der Umwelttechnologien insgesamt wirkt sich dies jedoch wenig aus.

¹¹ HS steht für „Harmonized Commodity Description and Coding System“, kurz auch „Harmonized System“, in dem gehandelte Produkte statistisch klassifiziert und erfasst werden.

¹² Um die Rolle der aufstrebenden Schwellenländer besser erfassen zu können, wurden Südkorea und Singapur abweichend von der Weltbank nicht in die Kategorie "Länder mit hohem Einkommen" eingruppiert, sondern in die Kategorie "Länder mit mittlerem Einkommen".

- ▶ Exporte von Ländern mit niedrigem Einkommen (low income countries) in Länder mit niedrigem Einkommen (L-L-Exporte), in Länder mit mittlerem Einkommen (L-M-Exporte) und in Länder mit hohem Einkommen (L-H-Exporte);
- ▶ Exporte von Ländern mit mittlerem Einkommen (middle income countries) in Länder mit niedrigem Einkommen (M-L-Exporte), in Länder mit mittlerem Einkommen (M-M-Exporte) und in Länder mit hohem Einkommen (M-H-Exporte);
- ▶ Exporte von Ländern mit hohem Einkommen (high income countries) in Länder mit niedrigem Einkommen (H-L-Exporte), in Länder mit mittlerem Einkommen (H-M-Exporte) und in Länder mit hohem Einkommen (H-H-Exporte).

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse. Der Marktanteil der Exporte von Ländern mit hohem Einkommen (Summe der H-H-, H-M- und H-L-Exporte) ist von 81,2 % in 2003 auf 65,5 % in 2014 gefallen. Im Unterschied dazu sind die Exportanteile der Länder mit mittlerem Einkommen von 18,8 % in 2003 auf 34,4 % in 2014 gestiegen. Die Länder mit niedrigem Einkommen hatten auch im Jahr 2014 mit einem Anteil von 0,06 % an den globalen Exporten eine gegenüber 2003 fast unverändert niedrige Bedeutung im weltweiten Handel mit Umwelttechnologien.

Tabelle 9: Anteil der jeweiligen Exportströme am weltweiten Export von Umwelttechnologien

	L-L	L-M	L-H	M-L	M-M	M-H	H-L	H-M	H-H
2003	0.01 %	0.02 %	0.01 %	0.49 %	5.30 %	12.96 %	0.41 %	20.99 %	59.80 %
2004	0.01 %	0.02 %	0.02 %	0.50 %	5.87 %	13.63 %	0.36 %	21.96 %	57.63 %
2005	0.02 %	0.02 %	0.02 %	0.51 %	6.64 %	14.75 %	0.40 %	22.24 %	55.40 %
2006	0.02 %	0.03 %	0.02 %	0.62 %	7.28 %	15.75 %	0.34 %	22.14 %	53.81 %
2007	0.02 %	0.03 %	0.02 %	0.57 %	7.99 %	16.33 %	0.35 %	22.36 %	52.33 %
2008	0.02 %	0.03 %	0.02 %	0.64 %	9.60 %	16.82 %	0.36 %	23.08 %	49.42 %
2009	0.03 %	0.03 %	0.03 %	0.95 %	10.30 %	16.83 %	0.45 %	24.46 %	46.92 %
2010	0.03 %	0.03 %	0.03 %	1.11 %	11.98 %	18.68 %	0.43 %	24.45 %	43.25 %
2011	0.02 %	0.03 %	0.03 %	1.19 %	12.78 %	19.20 %	0.50 %	23.95 %	42.30 %
2012	0.02 %	0.03 %	0.03 %	1.10 %	13.59 %	19.48 %	0.40 %	23.90 %	41.47 %
2013	0.03 %	0.04 %	0.04 %	1.15 %	13.51 %	18.99 %	0.39 %	23.92 %	41.92 %
2014	0.02 %	0.02 %	0.02 %	1.17 %	13.23 %	19.99 %	0.40 %	21.47 %	43.67 %

Quelle: (Walz et al. 2017)

Die länderbezogene Auswertung der Daten zeigt, dass China einerseits in erheblichem Maße Umwelttechnologien aus dem Norden importiert, aber andererseits auch zu einer wichtigen Exportnation (Marktanteil 12 %) aufgestiegen ist. Hierbei konzentrieren sich die Exporte Chinas auf die Länder des globalen Südens. Insgesamt ist das Niveau des Süd-Süd-Handels bei Umwelttechnologien zwar noch gering, zugleich ist dies aber das am stärksten wachsende Marktsegment. Die USA und Japan, aber auch Südkorea und Singapur spezialisieren sich auf die Ausrüs-

China. Deutschland weist mit Abstand die höchsten Exportanteile bei den OECD-Ländern auf, ist aber entsprechend negativ auf die stark wachsenden Märkte der Länder mit mittlerem Einkommen spezialisiert (Walz et al. 2017).

3 Exkurs: Die Entwicklung der Technologischen Innovationssysteme für PV und Windenergie in China

Angesichts der Verschiebung der globalen Innovationslandschaft bei Umwelttechnologien in Richtung der asiatischen Schwellenländer soll in diesem Exkurs exemplarisch für China dargestellt werden, welche Spezifika die Technologischen Innovationssysteme (TIS) für zwei der wichtigsten Umwelttechnologien, Windenergie und Photovoltaik, aufweisen. Windenergie und Photovoltaik (PV) sind im Technologiefeld der erneuerbaren Energien derzeit die Technologien, in deren Ausbau und technologische Entwicklung global gesehen die mit Abstand höchsten Investitionen fließen. Die TIS-Analyse zielt dabei darauf ab, zu untersuchen, inwieweit die wichtigsten Funktionen des Innovationssystems erfüllt werden. Diese Funktionen umfassen nach Bergek et al. (2008) die Entwicklung und Diffusion von Wissen u. a. durch Netzwerke, die Bestimmung der Suchrichtung für Innovationen, das Hervorbringen unternehmerischer Aktivitäten, die Entstehung von Märkten, die Schaffung von Legitimität, und die Mobilisierung von Ressourcen (s. linke Spalte in Tabelle 10). Die wesentlichen Erkenntnisse zum TIS für Windenergie und PV in China sind in Tabelle 10 tabellarisch gegenübergestellt.

Tabelle 10: Vergleich des Technologischen Innovationssystems (TIS) für Windenergie und PV in China

TIS Funktion	Windenergie	PV
Erzeugung und Diffusion von Wissen	Nachdem in den frühen Phasen des TIS zunächst die Absorption von Wissen aus den entwickelten Industrieländern im Vordergrund stand, liegt der Fokus nun auf der Erzeugung eigenständiger Innovationen. In der Grundlagenforschung ist China weltweit führend, aber gemessen an der Zahl der Patente liegt China noch deutlich hinter Deutschland, Dänemark und den USA zurück (gemessen an den Patenzahlen 2014-2018). Die umsatzstärksten chinesischen Unternehmen melden sowohl im heimischen Markt als auch international nur wenige Patente an.	Im Bereich der Grundlagenforschung ist das TIS in China weltweit führend. Bei der anwendungsorientierten Forschung hat China Deutschland bei den Patentanmeldezahlen weit hinter sich gelassen (ca. 60 % mehr Patente als Deutschland im Zeitraum 2014-2018). Die USA hat China im gleichen Zeitraum fast eingeholt, nur Japan hat bei der Zahl der Patente noch immer einen gewissen Vorsprung. Die chinesischen PV-Unternehmen investieren relativ wenig in F&E und haben nur einen geringen Output an Patenten verglichen mit Universitäten und Forschungseinrichtungen.

TIS Funktion	Windenergie	PV
Beeinflussung der Technologiesuche	Die technologische Entwicklung wird stark von den Vorgaben der Fünf-Jahres-Pläne gelenkt. In der Anfangsphase wurde der internationale Technologietransfer durch eine Kombination aus staatlicher Nachfrage und LCC (Local Content Criteria) angeregt. China hat im internationalen Vergleich einen stärkeren Fokus auf die Anpassung der Windenergietechnologie an spezifische Einsatzfelder und klimatische Bedingungen. Das technologische Spezialisierungsmuster weicht dabei relativ deutlich von dem der führenden Länder ab.	Die Technologiesuche wird stark von den Fünf-Jahres-Plänen beeinflusst, die für die F&E konkrete Vorgaben machen. China ist ebenso wie Japan und Südkorea im Bereich der neuesten Generation von PV-Zellen (3rd Generation) sehr aktiv, wo der Abstand zu den führenden Nationen am geringsten ist.
Unternehmerische Aktivität	Der Grad an unternehmerischer Aktivität ist hoch. In den vergangenen Jahren sind zahlreiche chinesische Großkonzerne in den Markt eingetreten und haben die Marktanteile westlicher Unternehmen übernommen.	Die meisten großen PV-Hersteller sind zwischen 1997 und 2006 in den Markt eingetreten. Nach einer Wachstumsphase finden sich diese aber aufgrund von Überkapazitäten und Handelsbeschränkungen in einem schwierigen Marktumfeld wieder, was zu einer Konsolidierung der Branche führt.
Marktentstehung	Der Markt für Windenergie hat sich in China aufgrund der ehrgeizigen politischen Zielvorgaben und politischer Anreize, wie z. B. der Einspeisevergütung, rasant entwickelt. Der Anteil chinesischer Windenergietechnologieexporte am Weltmarkt lag im Jahr 2017 bei 9,8 %. Chinas Außenhandel ist jedoch nicht auf dieses Technologiefeld spezialisiert (vgl. Gehrke et al. 2019, relativer Welthandelsanteil (RXA) von -46).	In der Entstehungsphase der PV Industrie wurden zunächst die Märkte in Europa und den USA bedient. Erst in den Jahren nach der Wirtschafts- und Finanzkrise und der Einführung von Importzöllen in Europa und USA wurde der heimische PV-Markt entwickelt. Der Anteil chinesischer PV-Technologieexporte am Weltmarkt lag im Jahr 2017 bei 31,3 %. China weist hier im Außenhandel deutliche Spezialisierungsvorteile auf (vgl. Gehrke et al. 2019, relativer Welthandelsanteil (RXA) von 71).
Legitimität	Aufgrund der sinkenden Technologiekosten, der positiven Auswirkungen auf die industrielle Entwicklung und die Nachhaltigkeit der Stromerzeugung ist die Legitimität der Technologie zunehmend gestiegen.	Ähnlich wie bei Windenergie, aber zeitverzögert.
Mobilisierung von Ressourcen	Im Jahr 2015 wurden in China 47,6 Mrd. US\$ in den Ausbau von Windenergie investiert.	Im Jahr 2015 wurden in China 44,3 Mrd. US\$ in den Ausbau von PV investiert.

Quellen: Gandenberger (2017, 2018a), Gehrke et al. 2019, eigene Berechnungen des Fraunhofer ISI auf Basis PATSTAT 2020s

China nimmt bei Produktion und Ausbau von PV und Windenergie global die führende Position ein. Auf dem Gebiet der anwendungsorientierten Forschung besteht im Fall von Windenergie

nach wie vor ein relativ großer Abstand zu den führenden Ländern (Deutschland, Dänemark, USA); bei PV hat China deutlich aufgeholt und gehört jetzt zu den führenden Ländern. In beiden Technologien zeigen sich Defizite bei der Einbindung der Unternehmen in das Innovationssystem.

Bei PV hat China im Bereich der neuesten Technologiegeneration (3G) den Vorsprung von Japan und Südkorea deutlich reduzieren können. Außerdem wurde die Wertschöpfungstiefe der eigenen PV-Produktion in den vergangenen Jahren stetig vergrößert, was vor allem auf der Umsetzung entsprechender Zielvorgaben aus den Fünfjahresplänen resultiert.

4 Politische Initiativen zur Förderung internationaler Kooperationen

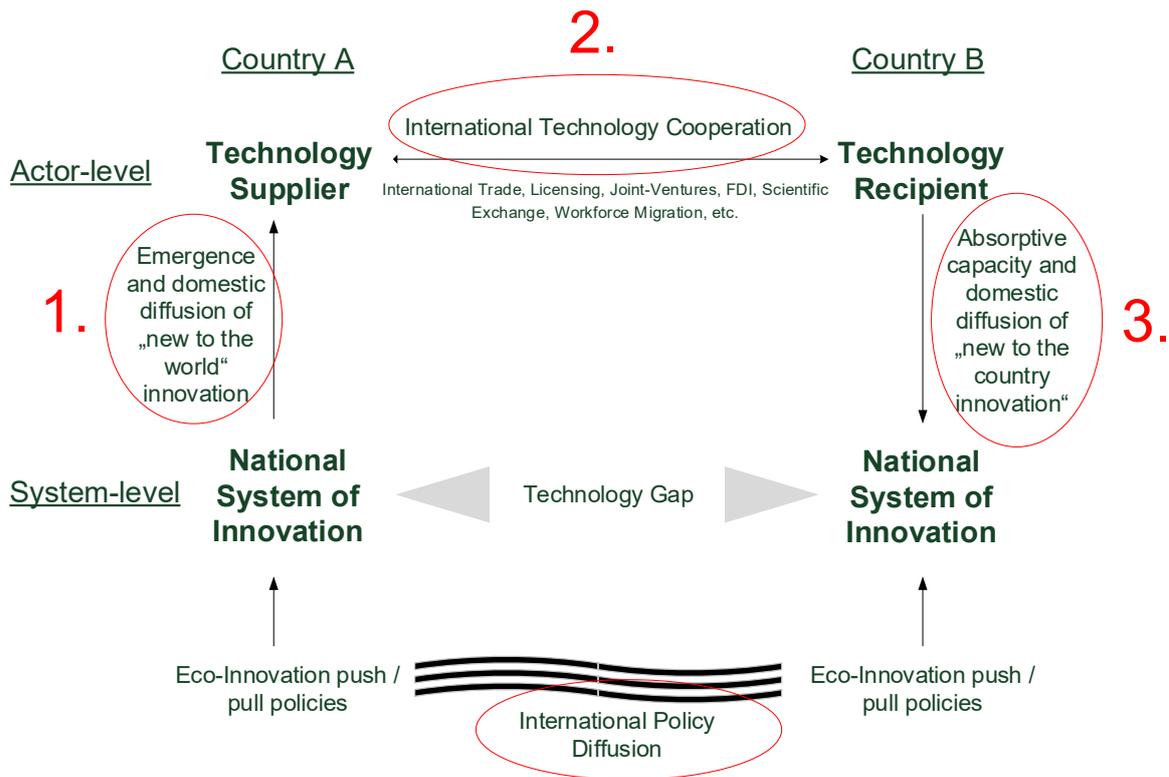
4.1 Grundmodell

Für politische Initiativen zur Förderung internationaler Kooperationen im Bereich der Umwelttechnologie gibt es verschiedene Ansatzpunkte. Um diese zu verdeutlichen, ist in Abbildung 5 ein konzeptionelles Modell internationaler Technologiekoooperationen bei Umwelttechnologien abgebildet. Das Modell geht davon aus, dass zwischen den Ländern A und B eine unterschiedliche Ausstattung an technologischer Hardware und Know-how in Bezug auf eine konkrete Umwelttechnologie vorherrscht ('technology gap'). Dieser Unterschied treibt eine Ausgleichsbewegung an, die im Rahmen internationaler Technologiekoooperationen zum Technologietransfer von Land A (Technologiegeber) nach Land B (Technologiennehmer) führt. Der Technologietransfer selbst findet auf der Akteursebene statt und vollzieht sich beispielsweise im Rahmen des internationalen Handels, von Joint-Ventures, von Projekten im Rahmen des Clean-Development-Mechanismus oder von internationalen Wissenschaftskooperationen.

Das Modell geht davon aus, dass für die Entstehung der technologischen Innovation das Innovationssystem von Land A verantwortlich ist. Da es sich um eine Umweltinnovation handelt, spielen politische Instrumente und Anreize bei der Entstehung und Weiterentwicklung von Innovation eine besonders wichtige Rolle, insbesondere dann, wenn es sich um Infrastruktur-Innovationen handelt (Walz 2007). In Land B wird die Technologie zunächst von dem Akteur aufgenommen, der im direkten Austausch mit dem Technologiegeber aus Land A steht. Ausgehend von diesem Einzelakteur kommt es dann zur Technologiediffusion innerhalb von Land B. Gerade bei Umweltinnovationen stehen internationale Technologiekoooperationen häufig vor der Herausforderung, dass nicht nur einzelne Technologien transferiert werden müssen, sondern komplexe Systemlösungen, die sich aus verschiedenen Einzeltechnologien zusammensetzen. Auch wenn Einzeltechnologien transferiert werden, müssen diese häufig in komplexe Systeme und Infrastrukturen, z. B. im Bereich der Energie- oder der Wasserversorgung, eingebettet sein. Die Geschwindigkeit, mit der Diffusionsprozesse in den Empfängerländern des Technologietransfers ablaufen, hängt daher auch von den technologiespezifischen Absorptionskapazitäten ab. Hierzu zählt u. a. auch die Fähigkeit, komplexe Systemlösungen aus dem Ausland an die lokalen Gegebenheiten anpassen zu können bzw. - umgekehrt - die eigene Infrastruktur so weiterzuentwickeln, dass die ausländische Technologie in diese integriert werden kann.

Daneben sind für die Geschwindigkeit des Diffusionsprozesses auch politische Anreize und Instrumente verantwortlich, die eine Marktnachfrage nach der Technologie erzeugen bzw. eigenständige Forschungsanstrengungen zur Anpassung der Technologie an den lokalen Kontext sowie den Aufbau entsprechender Unternehmen finanzieren.

Abbildung 5: Modell internationaler Technologiekoooperationen bei Umwelttechnologien



Quelle: In Anlehnung an Gandenberger (2015)

Vor diesem Hintergrund ergeben sich aus der Logik des Modells für Land A drei Ansatzpunkte zur Förderung internationaler Technologiekoooperationen, die im weiteren Verlauf dieser Kurzanalyse aufgegriffen werden:¹³

1. Förderung der Entstehung von Umweltinnovationen, insbesondere von solchen, die an die Bedürfnisse der immer größer werdenden Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländer angepasst sind (Kapitel 4.2);
2. Staatliche Förderung internationaler Technologiekoooperationen auf der Akteursebene (Kap. 4.3);
3. Förderung der Absorptionsfähigkeiten der Empfängerländer durch Maßnahmen des 'capacity building' im weitesten Sinne (Kap. 4.4).

Ein weiterer möglicher Ansatzpunkt ist die Förderung der internationalen Diffusion innovationsförderlicher Umweltpolitiken. Dieser Aspekt wird aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunktsetzung in dieser Studie nicht vertieft (vgl. stattdessen hierzu Jänicke 2005). Im nächsten Schritt erfolgt eine Bestandsaufnahme vorhandener politischer Initiativen der Bundesregierung zu den drei genannten Ansatzpunkten.

4.2 Initiativen zur Förderung der Entstehung von „transfer-geeigneten“ Umweltinnovationen (Ansatzpunkt 1)

Die Entstehung von Umweltinnovationen erfolgt im Kontext des Nationalen Innovationssystems eines Landes. Die Stärken und Schwächen des deutschen Öko-Innovationssystems wurden in

¹³ Darüber hinaus gibt es im Bereich des Klimaschutzes transnationale Initiativen zur Förderung des internationalen Technologietransfers unter dem Dach des UNFCCC Technology Transfer Mechanisms.

Walz et al. (2019) ausführlich untersucht. Unter den Herausforderungen der Öko-Innovationspolitik nennt der Bericht „Anpassung der eigenen technologischen Ansätze an die Bedingungen in Entwicklungsländern“ (ibid, S. 103). In Bezug auf die Fähigkeit Deutschlands, Umwelttechnologien hervorzubringen, die sich stärker an den Bedürfnissen der Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländern orientieren und dort hohe Diffusionsaussichten haben (insbesondere "frugale Innovationen"), lassen sich in Deutschland zwei relevante Institutionen identifizieren, nämlich das „Zentrum für Frugale Produkte und Produktionssysteme am Fraunhofer IAO und IPA“ (seit 2018) und das „Center for Frugal Innovation“ der TU Hamburg-Harburg. Darüber hinaus scheint es mit Ausnahme einzelner Projektförderungen (z. B. im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse des BMBF¹⁴) bislang keine Förderschwerpunkte im Bereich frugaler Umweltinnovationen zu geben.

4.3 Initiativen zur Förderung internationaler Technologiekooperationen auf der Akteursebene (Ansatzpunkt 2)

Bei der Förderung der Akteursebene erscheint es sinnvoll, zwischen Initiativen im Bereich der Wissenschaft und der Wirtschaft zu differenzieren, da die Akteure und ihre jeweiligen Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich sind.

Für den Bereich der Technologiekooperation von Wirtschaftsakteuren sind die Exportinitiativen von besonderer Relevanz, die für verschiedene umweltrelevante Technologiebereiche existieren und sich an KMU richten. Sie unterstützen die Ansatzpunkte „International Trade“ und (teilweise) „Licensing“, Joint Ventures sowie Foreign Direct Investment (FDI) in Abbildung 5. Sie sind in Walz et al. (2019) als Erfolgsbeispiel für Öko-Innovationspolitik ausführlich dargestellt, weil sie einen großen Beitrag zur Diffusion von Wissen und Know-how im Rahmen von Netzwerken leisten können (s. Walz et al. 2019, S. 85 ff). Die Exportinitiative „German RETech Partnership“¹⁵ widmet sich den Technologien für Recycling und Waste Management; die German Water Partnership unterstützt die internationalen Aktivitäten der deutschen Wasserbranche¹⁶. Die Exportinitiativen Erneuerbare Energien und Energieeffizienz wurden inzwischen zur Exportinitiative „Energie“ zusammengeführt¹⁷, weitere Umwelttechnologiebereiche deckt die Exportinitiative Umwelttechnologien ab (s. dazu Abschnitt 4.4). Allen Exportinitiativen ist gemein, dass sie nicht auf Schwellen- und Entwicklungsländer beschränkt sind. Aber viele Aktivitäten adressieren die Markterschließung dort, zum Beispiel das „Projektentwicklungsprogramm“ in der Exportinitiative Energie.

Neben den Exportinitiativen kann auch die Unterstützung der Cleaner-Production-Zentren zu den politische Initiativen gezählt werden, die die internationale Kooperation bei Umwelttechnologien fördern. Diese Zentren werden von den Vereinten Nationen vorangetrieben. Das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (Bundesregierung 2020) nimmt darauf in einer Maßnahme Bezug (ibid, Maßnahme 82, S. 61) und will damit explizit den internationalen Umwelttechnologie-transfer fördern.

Als nächstes betrachten wir die internationalen Technologiekooperationen in der Wissenschaft. Die Bundesregierung hat in ihrer Strategie zur Internationalisierung von Bildung, Wissenschaft

¹⁴ Beispielhaft sei das Projekt „TITUS - Implikationen des wirtschaftlichen Aufstiegs der Schwellenländer für die globalen Technologischen Innovationssysteme bei Umwelttechnologien“ (2015-2017, FKZ 1611648) genannt. Siehe Implikationen des wirtschaftlichen Aufstiegs der Schwellenländer für die globalen Technologischen Innovationssysteme bei Umwelttechnologien (letzter Abruf 06.08.2021).

¹⁵ <https://www.retech-germany.net/> (letzter Abruf 06.08.2021)

¹⁶ <http://germanwaterpartnership.de/de/> (letzter Abruf 06.08.2021)

¹⁷ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Aussenwirtschaft/exportinitiative-energie.html> (letzter Abruf 06.08.2021)

und Forschung (BMBF 2016) festgehalten, dass das Innovationssystem in Deutschland internationaler ausgerichtet werden muss, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Darüber hinaus hat das BMBF Strategien für die Intensivierung der Zusammenarbeit mit konkreten Ländern (u. a. China, Indien) bzw. Regionen (Afrika) entwickelt (BMBF 2019, 2018).

Auch in der deutschen Hightech-Strategie 2025, die unter den gesellschaftlichen Herausforderungen und in verschiedenen Missionen auch Umweltinnovationen prominent thematisiert, wird gefordert, die Internationalisierung des deutschen Wissenschaftssystems voranzutreiben (Bundesregierung 2018). Im Fokus steht hier in erster Linie die Intensivierung der europäischen Zusammenarbeit durch eine engere Verzahnung von nationaler und europäischer Innovationsförderung und die Vertiefung des europäischen Forschungsraums. Aber auch die Stärkung der Forschung in Entwicklungsländern zu Themen wie nachhaltiger Landnutzung und Klimaschutz sowie der Aufbau der Wissenschaftssysteme insbesondere in afrikanischen Ländern sind Teil der Strategie (ibid, S. 57).

In der aktuellen Nachhaltigkeitsstrategie werden unter den Maßnahmen durch und mit Deutschland, die der Umsetzung des Sustainable Development Goals (SDG) 4 „Hochwertige Bildung“ dienen, eine Vielzahl von Aktivitäten genannt, die die stärkere Verzahnung des Deutschen Umweltinnovationssystems mit den Innovationssystemen von Entwicklungs- und Schwellenländern unterstützen können (Bundesregierung 2021, S. 173ff). Passend zum empirischen Fokus dieser Studie (u. a. Publikationen und Patente) seien vor allem ein paar Beispiele aus dem Bereich Hochschulbildung sowie Forschung genannt. Sie umfassen zum Beispiel die individuelle Förderung durch Stipendien des Deutschen Akademischen Austauschdiensts (DAAD) und der Alexander von Humboldt-Stiftung (AvH)¹⁸. Auf institutioneller Ebene werden Partnerschaften zwischen Hochschulen und auch der Aufbau von Hochschulinfrastruktur gefördert. Sowohl die individuellen als auch die institutionellen Ansätze sind themenoffen, können also auch für die internationale Kooperation im Bereich (frugaler) Umweltinnovationen genutzt werden, ohne allerdings speziell darauf ausgerichtet zu sein. Im Rahmen der Maßnahme „Client II - Internationale Partnerschaften für nachhaltige Innovationen“ fördert das BMBF außerdem Forschungsk Kooperationen mit Schwellen- und Entwicklungsländern in sieben Themenbereichen, darunter Klimaschutz und -anpassung, Kreislaufwirtschaft und Energie. Der Themenbereich Landmanagement wird in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie explizit unter den deutschen Aktivitäten zur Umsetzung des SDG 15 „Leben an Land“ aufgeführt (Bundesregierung 2021, S. 331). Speziell im Thema Klimaschutz greift die „Internationale Klimaschutzinitiative (IKI)“ unter Federführung des BMU. In mehr als 700 Projekten wird dabei nicht nur die technologische Zusammenarbeit gefördert, sondern auch ein Beitrag zu verbesserten politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Umweltinnovationen angestrebt (vgl. Bundesregierung 2021).

Die EU-Kommission hat im Jahr 2012 ihre Mitteilung zur "Verbesserung und Fokussierung der internationalen Zusammenarbeit der EU in Forschung und Innovation: ein strategischer Ansatz" (Europäische Kommission 2012) veröffentlicht, die ebenfalls einen grundlegenden Wandel der globalen Innovationslandschaft erwartet und eine vollständige Öffnung des Horizon 2020 Programms für Teilnehmer aus Drittstaaten vorgeschlagen hat. Diese Öffnung ist inzwischen in großem Umfang erfolgt. Das Forschungsprogramm Horizon Europe der EU, das 2021 veröffentlicht wurde (Europäische Kommission 2021a), nennt eine Vielzahl von Ländern, die als assoziierte Länder Teil von Horizon Europe oder die im Rahmen der EU-Vorhaben automatisch zuwendungsberechtigt sind, so zum Beispiel auch Schwellenländer wie Indonesien und Süd-Afrika (Europäische Kommission 2021b). Jedoch fällt keines der in dieser Studie betrachteten sieben Länder des Südens in diese Gruppen. Sie können auf eigene Kosten in Konsortien teilnehmen

¹⁸ Zum Stand der internationalen Mobilität von Wissenschaftlern s. Tabelle 11 im Anhang.

oder sich ausnahmsweise für finanzielle Unterstützung qualifizieren, wenn einzelne Calls die Länder explizit nennen. Dies ist beispielsweise im aktuellen Arbeitsprogramm 2021-2022 „Climate, Energy, Mobility“ für Singapur und Süd-Korea bei einem Call zum Thema Automatisiertes und Vernetztes Fahren der Fall¹⁹. Darüber hinaus bestehen bilaterale „Science and Technology Agreements“ u. a. mit China, Indien aber auch den USA oder Japan. Es liegt jedoch außerhalb des Rahmens dieser Studie, den Stand und die Potenziale dieser Kooperationsbeziehungen auf dem Gebiet der Umwelttechnologien weiter zu vertiefen.

Die oben genannten Strategien der Bundesregierung und der EU im wissenschaftlichen Bereich beziehen sich nicht ausschließlich auf Umwelttechnologien, sondern tragen der stärkeren Globalisierung des Wissenschaftssystems Rechnung. Dennoch spielen Umwelttechnologien darin eine erhebliche Rolle, wie die Beispiele oben zeigen.

4.4 Capacity Building (Ansatzpunkt 3)

Die Entwicklung der Absorptionskapazitäten von Schwellen- und Entwicklungsländern für Umwelttechnologien ist Bestandteil der 'capacity building'-Aktivitäten der deutschen Entwicklungszusammenarbeit. Unter den Maßnahmen durch und mit Deutschland, die die Nachhaltigkeitsstrategie zur Umsetzung des SDG 4 „Hochwertige Bildung“ nennt, sind neben den oben bereits genannten Kooperationsaktivitäten eine große Vielzahl an Bildungsmaßnahmen aufgeführt, z. B. für Grundbildung und berufliche Bildung (Bundesregierung 2021, S. 173ff). Auch gemäß dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm soll „... die Kooperation zu politischen und institutionellen Reformen sowie Kapazitätsentwicklung zu Ressourceneffizienz und einer an Kreisläufen orientierten Wirtschaft [...] ausgeweitet werden.“ (Bundesregierung 2020, S. 62)

Schließlich ist in diesem Kontext auch die 2016 ins Leben gerufene „Exportinitiative Umwelttechnologien“ des BMU zu nennen²⁰. Die BMU-Exportinitiative unterscheidet sich von den weiter oben genannten Exportinitiativen dadurch, dass geeignete Rahmenbedingungen und Strukturen als Voraussetzung für einen erfolgreichen Technologietransfer geschaffen werden sollen. Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass die Einführung und dauerhafte Anwendung von Umwelttechnologien häufig davon abhängt, dass geeignete Rahmenbedingungen und Infrastrukturen vorhanden sind. Die Exportinitiative leistet in diesem Kontext Know-how-Transfer, unterstützt Netzwerke und entwickelt Konzepte, um Anbietern von Umwelttechnologien eine fundierte Basis für Investitionen im Zielland zu ermöglichen.

Die BMU-Exportinitiative umfasst alle Umwelttechnologien, die im Kompetenzbereich des Ministeriums liegen:

- ▶ Wasser- und Abwassermanagement,
- ▶ Kreislaufwirtschaft sowie Abfall- und Rohstoffwirtschaft,
- ▶ Ressourceneffizienz,
- ▶ Abwasser- und Bodenbehandlung,
- ▶ Nachhaltiges bzw. energiesparendes Bauen und Stadtentwicklung (2016 -2018),
- ▶ Nachhaltiger Konsum,

¹⁹ Siehe HORIZON-CL5-2021-D6-01-01: More powerful and reliable on-board perception and decision-making technologies addressing complex environmental conditions (CCAM Partnership).

²⁰ <https://www.bmu.de/programm/exportinitiative-umwelttechnologien> (letzter Abruf 06.08.2021)

- ▶ umweltfreundliche Mobilität und
- ▶ Luftreinhaltung.

5 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die diskutierten Daten zeigen, dass Deutschland insbesondere im Bereich der grundlagenorientierten Forschung im Bereich der Umwelttechnologien im Vergleich zu den angelsächsischen Ländern ein geringeres Wachstum bei den Ko-Publikationen mit Wissenschaftlern aus Schwellenländern aufweist. Initiativen innerhalb des deutschen Bildungs- und Forschungssystems zur Erhöhung der Offenheit gegenüber Studierenden und Wissenschaftlern aus Schwellen- und Entwicklungsländern sollten daher verstärkt werden. Die - in absoluten Zahlen - stärkste Ko-Publikationsbeziehung im Zeitraum 2012-2017 bestand zwischen Wissenschaftlern aus den USA und China, während noch im Zeitraum 2000-2005 Deutschland der wichtigste Partner der USA war. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, auch die Kooperationen mit den etablierten OECD-Partnern auf hohem Niveau zu stabilisieren.

Bei der anwendungsorientierten Forschung ist Deutschland gut in internationalen Ko-Patentbeziehungen eingebunden. Die Vernetzung der globalen Forschungslandschaft schreitet hier langsamer voran. Eine der Ursachen hierfür ist, dass sich im Gegensatz zur grundlagenorientierten Forschung bei einigen asiatischen Ländern (Japan, Südkorea, China) eine starke Tendenz zum Isolationismus zeigt, der wenig Spielraum für eine internationale Zusammenarbeit lässt.

Grundsätzlich muss in diesem Zusammenhang auch der Grünen Industriepolitik ("Green Industrial Policy") einiger aufstrebender Schwellenländer Rechnung getragen werden, die mit Politikinstrumenten wie Local-Content-Kriterien oder erzwungenem Technologietransfer hinterlegt sein können und die internationale Kooperationen entsprechend erschweren oder gar verhindern. Wie aus der Unternehmensbefragung (Kapitel 2.2) ersichtlich, stellen das Risiko von unintendierten Wissensabflüssen und das Risiko der Verletzung geistiger Eigentumsrechte die wichtigsten Barrieren für Investitionen in ausländische F&E-Standorte dar. Tendenziell scheinen Großunternehmen eher in der Lage zu sein, mit diesen Risiken angemessen umzugehen, während sie bei vielen kleinen und mittleren Unternehmen zur Ablehnung von F&E-Auslandsinvestitionen führen.

Allerdings scheint die Strategie des erzwungenen Technologietransfers aufgrund ihrer negativen Auswirkungen auf die Entwicklung eigenständiger Innovationskapazitäten in China gegenwärtig an Akzeptanz zu verlieren (Howell 2018) und dementsprechend könnte auch die Bundesregierung, etwa in ihren Konsultationen mit der chinesischen Regierung, auf die negativen Auswirkungen dieser Politik auf die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Umwelttechnik hinweisen.²¹ Zudem müssten die Anstrengungen zum Schutz kleiner und mittlerer Unternehmen vor ungewollten Wissensabflüssen und Produktpiraterie erhöht werden, um Barrieren für die Internationalisierung abzubauen. Die Entwicklung entsprechender Informations- und Serviceangebote könnte daher großen Nutzen bringen.

Den Risiken von ausländischen F&E-Direktinvestitionen stehen nämlich Chancen gegenüber, die aus der besseren Anpassung des Angebots an die lokalen Marktbedingungen, Kostenvorteilen, dem Zugriff auf spezifische Stärken ausländischer Innovationssysteme oder der Nähe zu eigenen Produktionsstandorten resultieren können. Gegenwärtig scheint für die deutschen Hersteller insbesondere das Kostenargument ausschlaggebend für Verlagerungen zu sein.

²¹ Vgl. auch Branstetter (2018), der für die USA entsprechende politische Optionen diskutiert.

Inhaltlich legen die in Kapitel 2.3 festgestellten strukturellen Verschiebungen im internationalen Handel mit Umwelttechnologien nahe, dass Deutschland seine Exporte im Vergleich zu anderen Ländern noch zu wenig auf die stark wachsende Nachfrage der Schwellen- und Entwicklungsländer ausrichtet und sich auf die traditionellen OECD-Absatzmärkte spezialisiert hat. Daher ist zu prüfen, inwieweit die Bildungs- und Forschungspolitik durch konkrete Forschungsprogramme zu frugalen Innovationen dazu beitragen kann, dass die Anforderungen der Schwellen- und Entwicklungsländer in Innovationsprozessen stärker berücksichtigt werden. Eine stärkere Integration dieser Anforderungen in die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge ist ein weiterer Ansatzpunkt. Auch weitere institutionelle Förderungen in Anlehnung an das Center for Frugal Innovation der Universitäten Leiden, Delft und Rotterdam könnten in Erwägung gezogen werden.

In Bezug auf die exportorientierten Unternehmensnetzwerke im Umwelttechnologiebereich wäre zu prüfen, inwieweit diese noch stärker auf Aktivitäten in Schwellen- und Entwicklungsländern ausgerichtet werden können.

In Schwellen- und Entwicklungsländern können durch Maßnahmen des capacity building, wie sie beispielsweise in der Exportinitiative Umwelttechnologie vorgesehen sind, die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für einen Technologietransfer aus Deutschland verbessert werden. In diesem Zusammenhang wäre auch die Durchführung von Demonstrationsprojekten im Ausland eine mögliche Option, um den internationalen Transfer bereits in einer frühen Phase der Technologieentwicklung zu fördern.

Zusammenfassend werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- ▶ Entwicklung und Fortführung spezieller F&E-Programme zur Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern im Bereich der Umwelttechnologie;
- ▶ Maßnahmen zur Erhöhung der Offenheit des deutschen Innovationssystems gegenüber Studierenden und Wissenschaftlern aus Schwellen- und Entwicklungsländern;
- ▶ Stärkere Integration des Aspekts der frugalen Innovation in die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung und die Forschungsförderung;
- ▶ Strategische Beratung und Dienstleistungen zur Erhöhung des Schutzes von KMU vor ungewollten Know-how-Abflüssen und Produktpiraterie;
- ▶ Initiieren lokaler Netzwerke und Durchführung von Demonstrationsprojekten für neue Technologien im Ausland.

6 Quellenverzeichnis

Agarwal, Nivedita; Brem, Alexander (Hg.) (2012): Frugal and Reverse Innovation - Literature Overview and Case Study Insights from a German MNC in India and China. Proceedings of the 2012 18th International Conference on Engineering, Technology and Innovation. Munich, 18.-20. Juni 2012: IEEE.

Altenburg, Tilman; Assmann, B. (Hg.) (2017): Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences. Geneva, Bonn.

Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan; Carlsson, Bo; Lindmark, Sven; Rickne, Annika (2008): Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems. A scheme of analysis. In: *Research Policy* 37 (3), S. 407–429. DOI: 10.1016/j.respol.2007.12.003.

Branstetter, Lee (2018): China's Forced Technology Transfer Problem—And What to Do About It. Hg. v. PIIE Peterson Institute for International Economics. Washington, D.C (Policy Brief 18-13), zuletzt geprüft am 19.07.2018.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2016): Internationalisierung von Bildung, Wissenschaft und Forschung. Strategie der Bundesregierung. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/internationalisierung-von-bildung-wissenschaft-und-forschung.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2018): Afrika-Strategie des BMBF. Perspektiven schaffen! Neue Impulse für die Kooperation mit afrikanischen Partnern in Bildung, Wissenschaft und Forschung. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/afrika-strategie-des-bmbf.pdf;jsessionid=44C2FBF502F0998998C534096967ABEB.live092?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2019): Bericht der Bundesregierung zur internationalen Kooperation in Bildung, Wissenschaft und Forschung 2017–2018. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/bericht-der-bundesregierung-zur-internationalen-kooperation-in-bildung-wissenschaft-und-forschung-2017-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMU) (2018): GreenTech made in Germany 2018. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMU) (2021): GreenTech made in Germany 2021. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/greentech_atlas_2021_bf.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

Bundesregierung (2018): Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025. BMBF: Berlin. Online verfügbar unter <https://www.hightech-strategie.de/files/HTS2025.pdf>, zuletzt geprüft am 03.12.2018.

Bundesregierung (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (2020-2023). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen (Kabinettsbeschluss, 17. Juni 2020). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/download/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-progress-iii/>, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

- Europäische Kommission (2012): Verbesserung und Fokussierung der internationalen Zusammenarbeit der EU in Forschung und Innovation: ein strategischer Ansatz. Brüssel: Europäische Kommission (Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2012) 497 final), zuletzt geprüft am 27.07.2021.
- Europäische Kommission (2021a): Horizon Europe. Research and innovation funding programme until 2027. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en, zuletzt geprüft am 27.07.2021.
- Europäische Kommission (2021b): List of Participating Countries in Horizon Europe. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/common/guidance/list-3rd-country-participation_horizon-euratom_en.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2021.
- Gandenberger, Carsten (2015): Theoretical Perspectives on the International Transfer and Diffusion of Climate Technologies. Karlsruhe (Working Paper Sustainability and Innovation, 12/2015).
- Gandenberger, Carsten (2017): Giant and Dwarf - China's Two Faces in Wind Energy Innovation. Karlsruhe (Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 07/2017), zuletzt geprüft am 31.07.2018.
- Gandenberger, Carsten (2018a): China's Trajectory from Production to Innovation. Insights from the Photovoltaics Sector. Karlsruhe (Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 03/2018), zuletzt geprüft am 31.07.2018.
- Gandenberger, Carsten (2018b): Globalisation of Corporate R&D. Evidence from German Environmental Technology Companies. Karlsruhe (Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 14/2018), zuletzt geprüft am 31.07.2018.
- Gandenberger, Carsten; Kroll, Henning; Walz, Rainer (2020): The role of frugal innovation in the global diffusion of green technologies. In: *IJTM* 83 (1/2/3), S. 97–113. DOI: 10.1504/IJTM.2020.109218.
- Gehrke, Birgit; Ingwersen, Kai; Schasse, Ulrich; Ostertag, Katrin; Marscheider-Weidemann, Frank; Rothengatter, Oliver et al. (2021): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Aktualisierte Ausgabe 2021. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, xx/2021 (im Erscheinen)).
- Gehrke, Birgit; Schasse, Ulrich; Gulden, Vivien-Sophie; Sethe, Philipp von; Dreher, Constantin (2019): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel. Aktualisierte Ausgabe 2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 05/2019). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-umweltschutzwirtschaft-in-deutschland-2019>, zuletzt geprüft am 22.07.2021.
- Howell, Sabrina T. (2018): Joint ventures and technology adoption. A Chinese industrial policy that backfired. In: *Research Policy* 47 (8), S. 1448–1462. DOI: 10.1016/j.respol.2018.04.021.
- Jänicke, Martin (2005): Trend-setters in environmental policy. The character and role of pioneer countries. In: *Eur. Env.* 15 (2), S. 129–142. DOI: 10.1002/eet.375.
- Jänicke, Martin (2014): Frugale Technik. Entwicklungsländer als Vorreiter der Nachhaltigkeit? In: *Ökologisches Wirtschaften* 29 (1), S. 30–36.
- Kroll, Henning; Schüller, MArgo; Conlé, Marcus; Cuhls, Kerstin; Küttgen, Naomi; Neuhäusler, Peter et al. (2021): Monitoring des Asiatisch-Pazifischen Forschungsraums (APRA). 3. BERICHT (2021). Schwerpunkt Indien. Bonn: DLR. Online verfügbar unter https://www.kooperation-international.de/fileadmin/user_upload/APRA_2021_web.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2021.
- Sagar, Ambuj D.; Bremner, Cath; Grubb, Michael (2009): Climate Innovation Centres: A Partnership approach to Meeting Energy and Climate Challenges. In: *Natural Resources Forum* 33 33, S. 274–284.

SRU (2012): Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt. Hg. v. Erich Schmidt Verlag. Berlin.

Tiwari, Rajnish; Herstatt, Cornelius (2012): India - A Lead Market for Frugal Innovations? Extending the Lead Market Theory to Emerging Economies. Social Science Research Network. Rochester, NY (ID 1998411), zuletzt geprüft am 2013-04-17TZ.

Walz, Rainer (2007): The role of regulation for sustainable infrastructure innovations: the case of wind energy. In: *IJPP* 2 (1/2), S. 57–88. DOI: 10.1504/IJPP.2007.012276.

Walz, Rainer; Köhler, Jonathan (2014): Using lead market factors to assess the potential for a sustainability transition. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 10, S. 20–41. DOI: 10.1016/j.eist.2013.12.004.

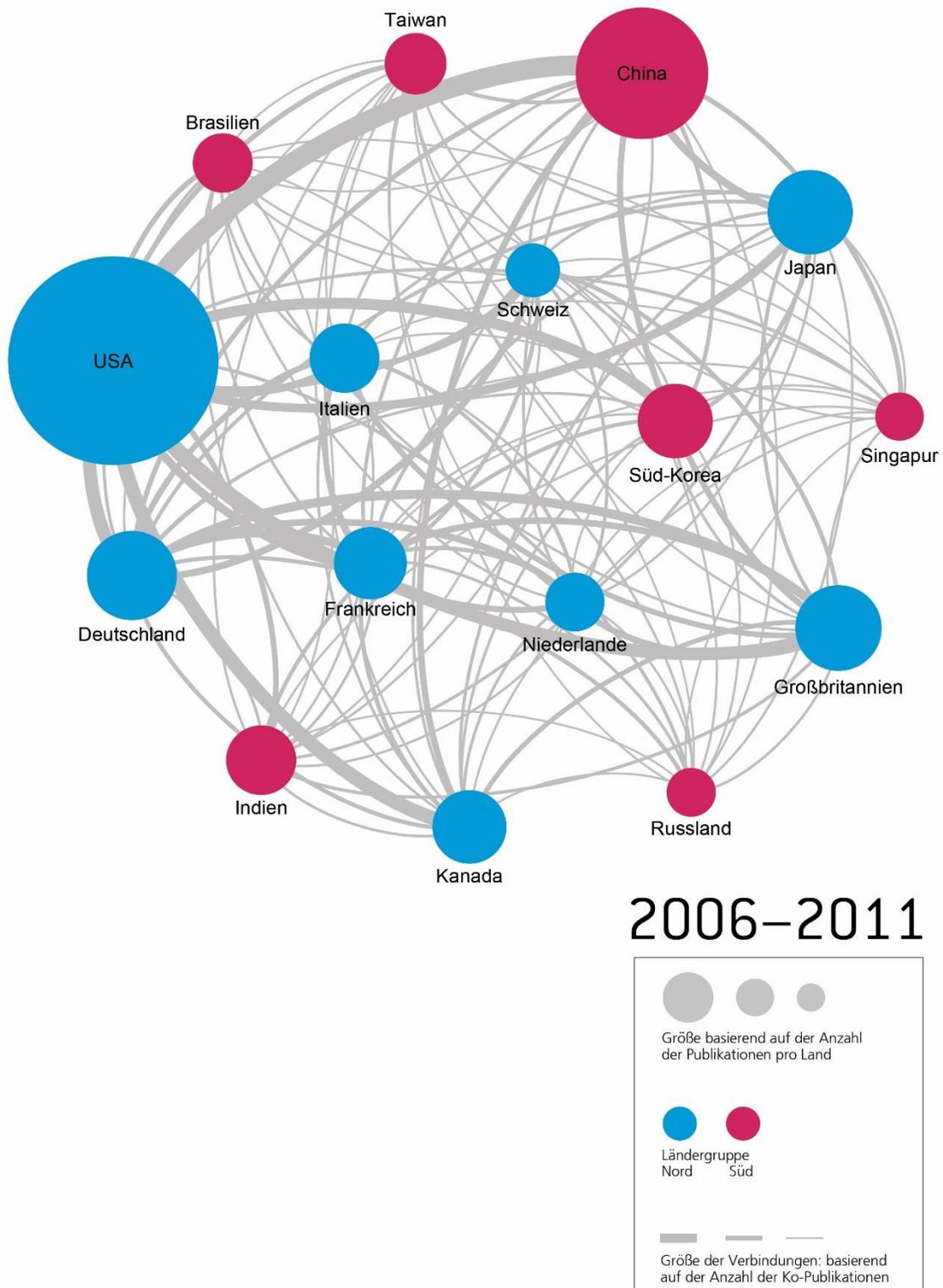
Walz, Rainer; Marscheider-Weidemann, Frank (2011): Technology-specific absorptive capacities for green technologies in Newly Industrialising Countries. In: *International Journal of Technology and Globalisation (IJTG)* 5 (3/4), S. 212-229. DOI: 10.1504/IJTG.2011.039765.

Walz, Rainer; Ostertag, Katrin; Eckartz, Katharina; Gandenberger, Carsten; Bodenheimer, Miriam; Peuckert, Jan et al. (2019): Ökologische Innovationspolitik in Deutschland. Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 01/2019). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29_texte_01-2019_oekologische-innovationspolitik.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2019.

Walz, Rainer; Pfaff, Matthias; Marscheider-Weidemann, Frank; Glöser-Chahoud, Simon (2017): Innovations for reaching the green sustainable development goals –where will they come from? In: *Int Econ Econ Policy* 14 (3), S. 449–480. DOI: 10.1007/s10368-017-0386-2.

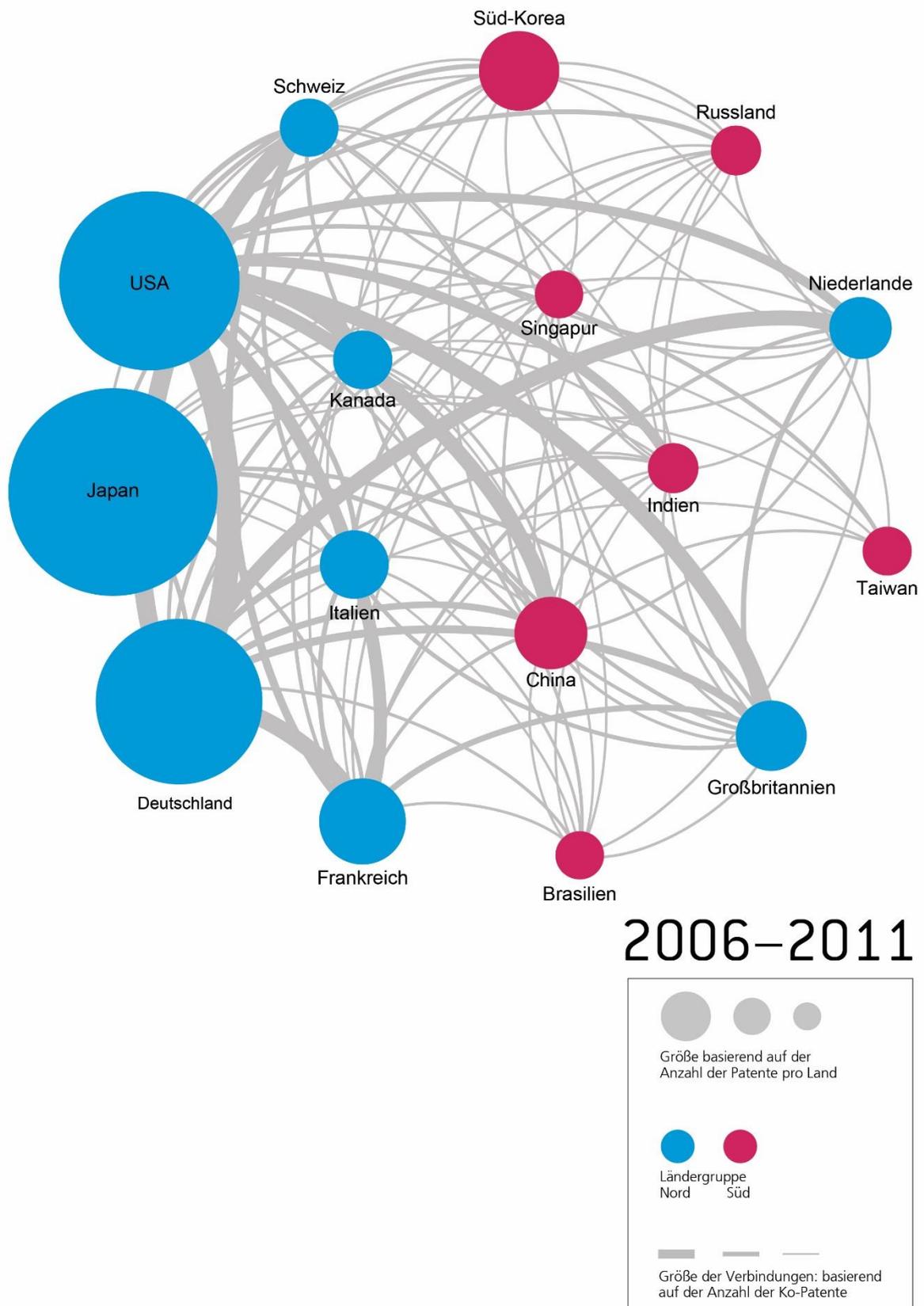
A Anhang

Abbildung 6: Publikationen und Ko-Publikationen bei Umwelttechnologie 2006-2011



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten aus Web of Science

Abbildung 7: Patente und Ko-Patente bei Umwelttechnologie 2006-2011



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten aus Patstat

Tabelle 11: Internationale Mobilität von Wissenschaftlern, 1996-2011

Land	Abwanderung	Zuwanderung	Saldo
Brasilien	4.242	4.798	556
Kanada	17.473	17.793	320
Schweiz	6.592	9.529	2.937
China	12.820	15.037	2.217
Deutschland	23.460	19.521	- 3.939
Dänemark	2.014	2.630	616
Spanien	8.027	8.133	106
Finnland	1.491	1.401	-90
Frankreich	18.774	13.700	- 5.074
Großbritannien	33.235	28.627	- 4.608
Indien	10.998	5.611	- 5.387
Italien	9.807	6.601	- 3.206
Japan	12.019	7.865	- 4.154
Südkorea	4.105	6.519	2.414
Niederlande	6.440	6.460	20
Russland	5.485	2.484	- 3.001
Singapur	1.862	2.701	839
Schweden	4.664	4.046	- 618
USA	70.966	83.109	12.143

Quelle: OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013, basierend auf Scopus