

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

08/2021

Umweltinnovationen *made in Germany:*

Welchen Beitrag können sie zum Erreichen der SDG in
Schwellen- und Entwicklungsländern leisten?

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Um-
weltinnovationspolitik

von:

Carsten Gandenberger, Frank Marscheider-Weidemann

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Umwelt 
Bundesamt

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 08/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 14 101 0

UBA-FB FB000113/ZW,3

Umweltinnovationen *made in Germany*:

Welchen Beitrag können sie zum Erreichen der SDG in
Schwellen- und Entwicklungsländern leisten?
Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen
Umweltinnovationspolitik

von

Carsten Gandenberger
Frank Marscheider-Weidemann

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
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

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

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

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

Durchführung der Studie:

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

Abschlussdatum:

Mai 2021
(Tabellen 2 und 3 im September 2021 korrigiert)

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4
Dr. Frauke Eckermann

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, September 2021

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

Kurzbeschreibung:

Das Erreichen der Sustainable Development Goals (SDG) ist eine globale Aufgabe, zu der viele Akteure aus Deutschland aufgrund ihrer hohen technologischen Kompetenz einen wichtigen Beitrag leisten können. Bislang sind die deutschen Exporte von Umwelttechnologien stark auf andere OECD-Länder konzentriert. Angesichts der wachsenden Nachfrage aus Schwellen- und Entwicklungsländern und der von der deutschen Regierung vielfach konstatierten Mitverantwortung Deutschlands für eine nachhaltige Entwicklung des globalen Südens widmet sich die vorliegende Studie der Frage, welche technologischen Kompetenzen Deutschland einbringen kann, um auf globaler Ebene das Erreichen der SDGs zu fördern und wie die Innovationsaktivitäten in Deutschland stärker auf die neuen Märkte und Herausforderungen ausgerichtet werden können.

Abstract:

Achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) is a global task to which many actors from Germany can make an important contribution due to their high technological competence. So far, German exports of environmental technologies have been heavily concentrated on other OECD countries. In view of the growing demand from emerging and developing countries and Germany's co-responsibility for sustainable development in the global South, this study addresses the question which technological competences Germany can contribute to promote the achievement of the SDGs at the global level and how innovation activities in Germany can be geared towards the needs of new markets and challenges.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
Zusammenfassung.....	9
Summary.....	10
1 Einführung.....	11
2 Abgleich des umwelttechnologischen Kompetenzprofils Deutschlands mit den SDG.....	12
2.1 Die Sustainable Development Goals und der Beitrag von Technologien zur Zielerreichung	12
2.2 Welche Prioritäten setzen die Schwellen- und Entwicklungsländer?.....	14
2.3 Beschreibung des deutschen Technologieprofils.....	17
3 Entstehungsbedingungen für frugale Umwelttechnologien.....	24
3.1 Konzeptionelle Grundlagen.....	24
3.2 Treiber und Hemmnisse frugaler Innovationen.....	26
3.3 Fallstudien zu frugalen Umweltinnovationen aus Deutschland.....	27
3.3.1 SunMeetsWater (Dezentrale Trinkwasseraufbereitung).....	28
3.3.2 ME SOLshare (Schwarzelektifizierung).....	31
4 Fazit und Handlungsempfehlungen.....	33
5 Literatur.....	37
Anhang.....	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die Ziele für Nachhaltige Entwicklung.....	12
Abbildung 2:	Abgleich von Technikgruppen mit den SDG	14
Abbildung 3:	Übersicht der Länder mit TNA-Bericht	15
Abbildung 4:	Zeitliche Entwicklung des Spezialisierungsindex ausgewählter Länder im Bereich Spitzentechnologie (F&E-Quote > 9 %)	17
Abbildung 5:	Zeitliche Entwicklung des Spezialisierungsindex ausgewählter Länder im Bereich hochwertiger Technologie (F&E-Quote 3 %- 9 %)	18
Abbildung 6:	Branchen mit besonderem Bezug zu frugalen Innovationen ...	26
Abbildung 7:	Morphologischer Kasten für frugale Innovationen	28
Abbildung 8:	Funktionsweise des SuMeWa-Systems	30
Abbildung 9:	Morphologischer Kasten für ein SuMeWa-System (Autarkon)	31
Abbildung 10:	Aufbau SOLbazar	32
Abbildung 11:	Morphologischer Kasten für ME SOLShare	33
Abbildung 12:	Umwelttechnologie-Klassifikation des Fraunhofer ISI	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Spezialisierung Deutschlands für Umwelttechnologien (RPA 2015 - 2017).....	19
Tabelle 2:	Anteile der Länder an den weltweiten Umweltpatenten in Prozent, Mittelwert der Jahre 2015-2017	22
Tabelle 3:	Spezialisierung der Länder bei Umweltpatenten (RPA 2015- 2017).....	23
Tabelle 4:	Priorisierte SDGs in den TNA	39

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Block-Heizkraftwerk
CN	China
DE	Deutschland
DTU	Technical University of Denmark
FR	Frankreich
GB	Großbritannien
IOT	Internet of Things
IT	Italien
JP	Japan
KR	Republik Korea (Südkorea)
LDC	Least Developed Countries
NIC	Newly-Industrializing Countries
RPA	Relative Patenting Advantage
SDG	Sustainable Development Goals
TNA	Technology Needs Assessment
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
US	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)

Zusammenfassung

Das Erreichen der Sustainable Development Goals (SDG) ist eine globale Aufgabe, zu der viele Akteure aus Deutschland aufgrund ihrer hohen technologischen Kompetenz einen wichtigen Beitrag leisten können. Bislang sind die deutschen Exporte von Umwelttechnologien stark auf andere OECD-Länder konzentriert, die in Bezug auf die SDGs einen ähnlich hohen Zielerreichungsgrad aufweisen wie Deutschland. Angesichts der sich wandelnden globalen Märkte für Umwelttechnologien und der von der deutschen Regierung vielfach konstatierten Mitverantwortung Deutschlands für eine nachhaltige Entwicklung des globalen Südens stehen in der vorliegenden Studie folgende Forschungsfragen im Vordergrund:

- ▶ Welche Technologien benötigen Schwellen- und Entwicklungsländer, um einen nachhaltigen Entwicklungspfad einzuschlagen? Welche Technologien sind für das Erreichen der konkreter SDGs besonders wichtig?
- ▶ Welche technologischen Kompetenzen kann Deutschland einbringen, um auf globaler Ebene das Erreichen der SDGs zu fördern? Wie unterscheidet sich das technologische Kompetenzprofil Deutschlands vom Profil anderer Industrieländer?
- ▶ Wie können in einem technisch hochentwickelten Land wie Deutschland die Voraussetzungen für die Entwicklung umwelttechnologischer (System-)Lösungen geschaffen werden, die sich im Kontext von Schwellen- und Entwicklungsländern bewähren?

Die Studie zeigt basierend auf einer Analyse von Umwelttechnologiepatenten, dass die Spezialisierung Deutschlands auf Umwelttechnologien nicht sehr ausgeprägt ist. Deutschland verfügt aber bei fast allen relevanten Technologien über hohe technologische Kompetenzen, was durch mittlere bis hohe Anteile an den weltweiten Patentaktivitäten untermauert wird. Das im Vergleich zu anderen Ländern sehr ausgeglichene Technologieportfolio Deutschlands könnte für den Aufbau nachhaltiger Systemlösungen, bei denen verschiedene Technologien zu übergreifenden Systemlösungen kombiniert und aus einer Hand angeboten werden, ein Vorteil sein. Eine besondere Stärke des deutschen Innovationssystems liegt im Bereich der nachhaltigen Mobilität. Darüber hinaus verfügt Deutschland in den ebenfalls sehr wichtigen Bereichen Energieversorgung und Energieeffizienz sowie bei einigen Recyclingtechnologien über eine sehr hohe Spezialisierung.

Um die Entstehungsbedingungen von (frugalen) Umweltinnovationen zu analysieren, die besser auf die Bedürfnisse der wachsenden Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländern ausgerichtet sind, wurden Expertengespräche geführt und Fallbeispiele analysiert. Frugale Innovationen zeichnen sich durch eine starke Konzentration auf Kernfunktionalitäten, Preis und Robustheit aus und können gerade für Unternehmen aus dem Mittelstand ein interessantes Sprungbrett sein, um Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländern zu erschließen. Allerdings ist die Berücksichtigung des "frugal design"-Gedankens in den bestehenden Innovationsprozessen deutscher Unternehmen kein Selbstläufer und macht eine spezielle Förderung im Rahmen staatlicher Innovationsprogramme und in der Hochschulausbildung erforderlich.

Summary

Achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) is a global task to which many actors from Germany can make an important contribution due to their high technological competence. So far, German exports of environmental technologies have been heavily concentrated on other OECD countries that have a similarly high level of SDG achievement as Germany. In view of the changing global markets for environmental technologies and Germany's shared responsibility for the sustainable development of the global South, which is frequently stated by the German government, this study focuses on the following research questions:

- ▶ Which technologies do emerging and developing countries need in order to achieve the SDGs by 2030? Which technologies are particularly relevant for achieving specific SDGs?
- ▶ What technological competences can Germany contribute to promote the achievement of the SDGs at the global level? How does Germany's technological competence profile differ from that of other industrialised countries?
- ▶ How can actors from a technologically advanced country like Germany engage in innovation processes that produce outcomes (i.e. products or services) that meet the needs of markets in emerging and developing countries?

Based on an analysis of environmental technology patents, the study shows that Germany's specialisation in environmental technologies is not very pronounced. However, Germany has high technological competences in almost all relevant technologies, which is underpinned by medium to high shares in worldwide patent activities. Compared to other countries, Germany's very balanced technology portfolio could be an advantage for the development of sustainable system solutions, in which different technologies are combined into overarching system solutions and offered from a single source. A particular strength of the German innovation system lies in the area of sustainable mobility. In addition, Germany has a very high level of specialisation in the equally important areas of energy supply and energy efficiency, as well as in some recycling technologies.

In order to analyse the conditions for the emergence of (frugal) environmental innovations that are better geared to the needs of the growing markets in emerging and developing countries, expert interviews were conducted and case studies analysed. Frugal innovations are characterised by a strong focus on core functionalities, price and robustness and can be an interesting stepping stone, especially for SMEs, to open up markets in emerging and developing countries. However, the incorporation of the "frugal design" idea into the existing innovation processes of German companies requires special attention in government sponsored innovation programs and from initiatives in higher education.

1 Einführung

Anhand einer Analyse der internationalen Handelsströme mit Umwelttechnologien konnte von Gandenberger et al. (2020) gezeigt werden, dass die deutschen Umwelttechnologieexporte stark auf die Nachfrage der etablierten Industrieländer spezialisiert sind. Die Analyse zeigt zudem ein starkes Wachstum der Umwelttechnologieimporte von Schwellenländern (Newly-Industrializing Countries, NIC) und Entwicklungsländern (Least Developed Countries, LDC) sowie eine negative Spezialisierung der deutschen Exporte auf diese Ländergruppen auf. Die steigende Nachfrage der NIC und LDC nach Umwelttechnologien wird zunehmend von anderen NIC und nicht mehr überwiegend von Industrieländern befriedigt (Gandenberger et al. 2020).

Angesichts der sich wandelnden globalen Märkte für Umwelttechnologien und der von der deutschen Regierung vielfach konstatierten Mitverantwortung Deutschlands für eine nachhaltige Entwicklung des globalen Südens stehen in der vorliegenden Kurzstudie folgende Forschungsfragen im Vordergrund:

- ▶ Welche Technologien benötigen NIC und LDC, um einen nachhaltigen Entwicklungspfad einzuschlagen? Welche Technologien sind für das Erreichen der Sustainable Development Goals (SDG) erforderlich?
- ▶ Auf welche technologischen Kompetenzen kann Deutschland zurückgreifen, um auf globaler Ebene das Erreichen der SDGs zu fördern?
- ▶ Wie können in einem technisch hochentwickelten Land, wie z. B. Deutschland, die Voraussetzungen für die Entwicklung umwelttechnologischer (System-)Lösungen geschaffen werden, die sich im Kontext von NIC und LDC bewähren?

Um sich Antworten auf diese Fragen anzunähern, werden zunächst im zweiten Kapitel die Anforderungen von NIC und LDC im Bereich der Umwelttechnologie mit dem technologischen Kompetenzprofil Deutschlands verglichen. Als Ausgangspunkt für den Vergleich dienen die 17 Sustainable Development Goals (SDG), für deren Erreichen - neben institutionellen, organisatorischen und sozialen Innovationen - auch technologische Innovationen benötigt werden (Sampath und Roffe 2012; Belderbos et al. 2012; Popp 2008). Während sich das technologische Kompetenzprofil Deutschlands und einiger weniger großer NICs (China, Indien) anhand ihrer Patentaktivitäten messen und beurteilen lässt, ist dieser Indikator angesichts der sehr geringen Patentaktivitäten in den allermeisten NIC und LDC nicht aussagekräftig genug, um einen solchen Vergleich durchzuführen. Für die Einschätzung der technologischen Bedarfe dieser Länder wird daher auf eine Auswertung von Technology Needs Assessment (TNA) Reports zurückgegriffen, die von vielen Regierungen der nicht im Annex 1 der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten erstellt werden. In diesen TNAs werden technologische Bedarfe identifiziert, die für eine nachhaltige Entwicklung dieser Länder eine entscheidende Rolle spielen und für deren Erschließung ein Technologietransfer bzw. eine andere Form der technologischen Kooperation mit weiter entwickelten Ländern sinnvoll ist.

Im dritten Kapitel werden die Voraussetzungen für die Entstehung innovativer Umwelttechnologien untersucht, die gezielt auf die Überwindung von Umweltproblemen in NIC und LDC ausgerichtet sind. Die aufkeimende Diskussion um die Entstehung frugaler Innovationen *made in Germany* bzw. *made in Europe* (Kroll und Gabriel 2017) bietet hierfür wichtige Anknüpfungspunkte. Um die Entstehungsbedingungen für erfolgreiche, frugale Umweltinnovationen in Deutschland

zu analysieren, wurden Expertengespräche mit Vertretern relevanter wissenschaftlicher Einrichtungen geführt. Ein weiterer methodischer Ansatzpunkt ist die Analyse von Fallbeispielen für frugale Umweltinnovationen aus Deutschland.

Das vierte Kapitel rundet die Diskussion um den Beitrag von Umweltinnovation *made in Germany* zur Erreichung der SDG ab und entwickelt Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Bildungseinrichtungen.

2 Abgleich des umwelttechnologischen Kompetenzprofils Deutschlands mit den SDG

2.1 Die Sustainable Development Goals und der Beitrag von Technologien zur Zielerreichung

Im Jahr 2015 wurden von der Generalversammlung der Vereinten Nationen die 17 Sustainable Development Goals (SDG)¹ verabschiedet (siehe Abbildung 1), die in der Öffentlichkeit eine sehr breite Resonanz gefunden haben. Die 17 Ziele werden durch 169 Unterziele konkretisiert und sollen bis zum Jahr 2030 erreicht sein.

Abbildung 1: Die Ziele für Nachhaltige Entwicklung



Quelle: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklart-232174>

Die Erstellung der SDGs ist eine Folgemaßnahme zu den Millenniums-Entwicklungszielen (2000-2015) und dem Rio+20-Gipfel (2012). Im Gegensatz zu diesen Vorläufern verpflichten die SDGs sowohl Industrie- als auch Entwicklungsländer und umfassen wirtschaftliche, ökologische und soziale Aspekte der Entwicklung. Die SDGs basieren auf der Erkenntnis, dass menschliche Aktivitäten dramatische Veränderungen der Lebensbedingungen auf der Erde, wie z. B. den Klimawandel und den Verlust biologischer Vielfalt, ausgelöst haben (Latek und Pichon 2019). Die Umsetzung der SDGs geht weit über den traditionellen Ansatz der Entwicklungszusammenarbeit

¹ Ziele für Nachhaltige Entwicklung.

hinaus und erfordert die aktive Beteiligung transnationaler, nationaler und subnationaler Akteure, der Zivilgesellschaft und des Privatsektors (Latek und Pichon 2019).

Nach Ansicht vieler Beobachter können Zielkonflikte zwischen einzelnen SDGs bestehen, insbesondere zwischen den Zielen, die auf eine Sicherung der natürlichen Ressourcenbasis und dem Streben nach mehr Wohlstand ausgerichtet sind, beispielsweise zwischen den SDGs Nr. 1 ("Keine Armut") und 13 ("Maßnahmen zum Klimaschutz") (Spaiser et al. 2017). Teilweise können diese Zielkonflikte dadurch abgemildert werden, dass im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit der Zugang zu modernen, umweltfreundlichen Technologien verbessert wird, damit NIC und LDC möglichst früh einen grünen Entwicklungspfad einschlagen. Die Vereinten Nationen fordern beispielsweise, dass in den nächsten fünfzehn Jahren erschwingliche technologische Lösungen entwickelt und global verbreitet werden müssen, um die derzeitigen nicht nachhaltigen Entwicklungspfade im Zeitraum 2015 bis 2030 neu auszurichten (Vereinte Nationen o.J.).

Neue Umwelttechnologien haben vielfach das Potenzial, die Produktivität in bestimmten Sektoren, wie z. B. Energie, Mobilität oder Landwirtschaft, zu erhöhen und gleichzeitig die Inanspruchnahme der natürlichen Umwelt zu verringern. Das World Economic Forum betont hierbei vor allem die Potenziale digitaler Technologien zur Erreichung der SDGs. In Bezug auf SDG Nr. 7 ("Zugang zu günstiger und sauberer Energie") werden beispielsweise der Aufbau lokaler Micro Grids oder die verbesserten Integrationsmöglichkeiten erneuerbarer Energie durch Künstliche Intelligenz, Blockchain- oder Internet of Things-Technologien hervorgehoben (Herweijer und Kailash Nath Waughray 2019).

Ein systematischer Abgleich zwischen den 17 SDGs und einer umfassenden Klassifikation von Umwelttechnologien wurde vom Fraunhofer ISI bereits im Rahmen eines internen Projekts der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt (Marscheider-Weidemann und Gandenberger 2019). Die hierfür verwendete Klassifikation der Umwelttechnologien umfasst die Technologiefelder Energieerzeugung, Energieeffizienz, Ressourceneffizienz, Abfall und Emissionsschutz, Mobilität, Wasser, Ernährung und Boden, Gesundheit sowie Digitalisierung. Ausgehend von diesen Technologiefeldern wurden auf der nächsttieferen Ebene "Technikgruppen" definiert, z. B. Erneuerbare Energien als Teilbereich des Technologiefelds Energieerzeugung. Unterhalb der Technikgruppen liegen dann Technologielinien, z. B. Wasserkraft als Teilbereich der Technikgruppe "Erneuerbare Energie". Eine Darstellung der Klassifikation findet sich in Abbildung 12 (s. Anhang).

Der in Abbildung 2 dargestellte Abgleich zwischen Umwelttechnologien und SDGs erfolgte auf der Ebene der Technikgruppen und basiert auf Fraunhofer-internen Experteneinschätzungen. Hierbei stellt sich zunächst heraus, dass durch die betrachteten Technologien fast keine direkten Beiträge zu den SDGs Nr. 4, 5, 8, 10, 16 und 17 geleistet werden können. Ursächlich hierfür ist zum einen, dass die SDGs Nr. 16 ("Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen") und 17 ("Partnerschaft zur Erreichung der Ziele") auf der politisch-institutionellen Ebene ansetzen. Die SDG Nr. 4 ("Chancengerechte und hochwertige Bildung"), 5 ("Geschlechtergleichheit"), 8 ("Gute Arbeit und Wirtschaftswachstum") und 10 ("Weniger Ungleichheiten") können primär der sozialen und ökonomischen Dimension von Nachhaltigkeit zugeordnet werden und werden von Umwelttechnologien höchstens indirekt beeinflusst.

Abbildung 2: Abgleich von Technikgruppen mit den SDG

Technikgruppe mit Bezug zur Nachhaltigkeit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Erneuerbare Energien	-	-	-	-	-	-	+++	-	+++	-	+++	+++	+++	-	-	-	-
Kraftwerke und Umwandlung	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Energiespeicher und -verteilung	-	-	-	-	-	-	+++	-	+++	-	-	+++	+++	-	-	-	-
Gebäudetechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	-	-	-
Energiesparende Geräte	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-
Industrielle Querschnittstechnologien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Industrielle Prozesse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Nachwachsende Rohstoffe	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+++	+++	+++	-	-	-	-
Kritische Rohstoffe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Rohstoffgewinnung (Primärrohstoffe)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+	-	-	-	-
Produktionsprozesse + Ökodesign	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	++	-	-	-	-
Recyclingprozesse	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	-	-	+++	+++	+++	+++	-	-
Abfallsammlung	-	-	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	+++	+++	+++	+++	-	-
Abfallbehandlung + -beseitigung	-	-	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	+++	+++	+++	+++	-	-
Lärm + Luftreinhaltung/Immissionschutz	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+	+	+	-	-
Antriebstechnologien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Fahrzeugtechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Verkehrsinfrastruktur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	-	+	-	-	-	-
nachgeschalt. Emissionsred. für Fhzeuge	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biokraftstoffe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+++	-	-	-	-
Wasserversorgung	+++	+++	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abwasserentsorgung	+++	+++	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	+++	-	+++	+++	-	-
Wassernutzungseffizienz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+++	+++	-	-
Hochwasserschutz	+++	-	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boden- + Ressourcenschonung	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+++	+++	-	-	-
Ernährung + Landwirtschaft	+++	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+++	-	-
Altlastenbehandlung	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	+++	-	-
Soziales Gesundheitssystem	+++	+++	+++	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prophylaxe	+++	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Digitalisierung/IT	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-

Legende				
-	=	Kein Beitrag der Technikgruppe zur Erreichung der SDGs		
+	=	geringer Beitrag zu dem SDG		
++	=	Beitrag zu dem SDG		
+++	=	Deutlicher Beitrag zu dem SDG		

Quelle: Fraunhofer ISI

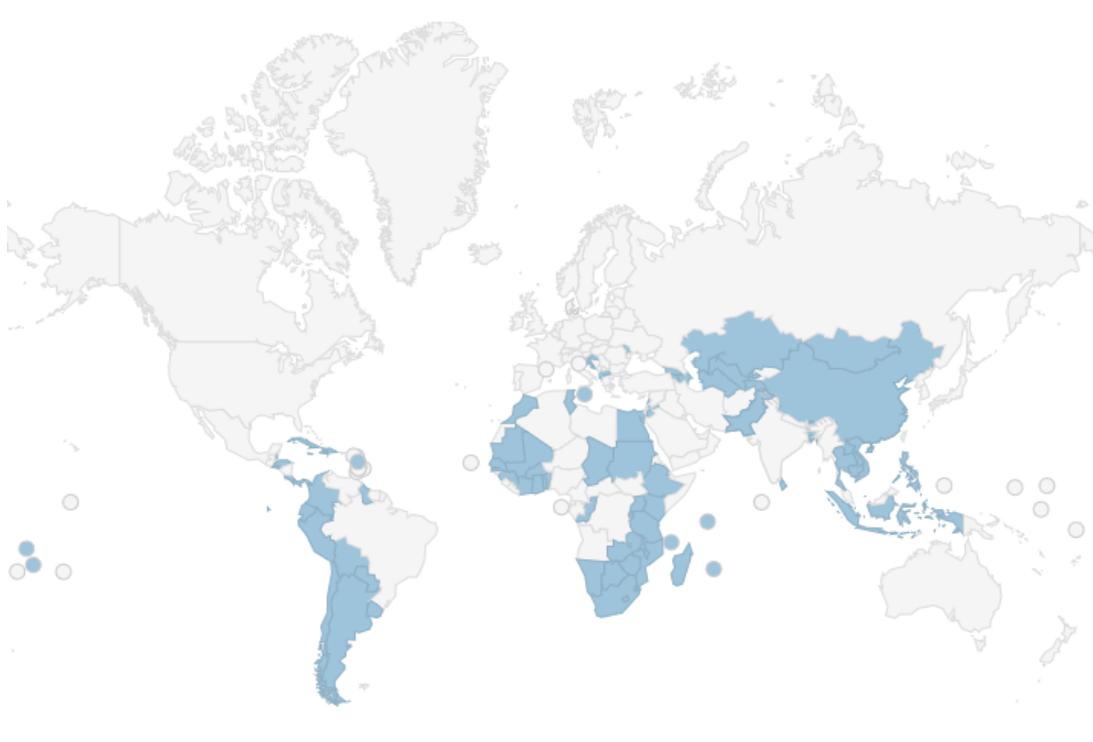
Besonders starke Beiträge wurden dagegen für die SDGs Nr. 3 ("Gesundheit und Wohlergehen"), 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion") und 13 ("Klimaschutz und Anpassung") festgestellt. Ursächlich für die positiven Auswirkungen von Umwelttechnologien auf SDG Nr. 3 ("Gesundheit und Wohlbefinden") ist der enge Zusammenhang zwischen Umwelt- und Gesundheitsschutz. Die negativen Gesundheitswirkungen, die durch die Emission von Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden, die Verbringung gefährlicher Abfälle sowie durch Lärmemissionen ausgelöst werden, sind hierbei ein wichtiger Aspekt. Hinzu kommen negative Gesundheitsauswirkungen, die durch die negativen Folgen des Klimawandels hervorgerufen werden können, z. B. durch Hitzewellen oder Überschwemmungen. Zur Minderung dieser Klimarisiken werden entsprechende Anpassungsmaßnahmen und -technologien benötigt. In Bezug auf die SDGs Nr. 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion") und Nr. 13 ("Klimaschutz und Anpassung") werden von den genannten Technologien wichtige Beiträge erwartet, insbesondere von der Nutzung erneuerbarer Energien, Energiespeicher, nachwachsender Rohstoffe sowie von Recyclingtechnologien. Darüber hinaus ergeben sich für weitere SDGs (Nr. 6, 7, 9, 11, 14 und 15) ebenfalls wichtige Beiträge.

2.2 Welche Prioritäten setzen die Schwellen- und Entwicklungsländer?

Die Abschätzung der Wirkungen einzelner Technologien auf die SDGs, die in Kapitel 2.1 vorgenommen wurde, basiert auf der Einschätzung von Experten aus einem Industrieland, was aus methodischer Sicht zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Diese Sichtweise soll daher in diesem Kapitel um die Perspektive von NIC und LDC ergänzt werden. Ansatzpunkt für die Erfassung der Perspektive von Experten aus Entwicklungsländern sind Technologiebedarfsanalysen. Technologiebedarfsanalysen (Technology Needs Assessment, TNA) dienen der Identifizierung, Priorisierung und Verbreitung von Technologien für Klimaschutz- und Klimaanpassungs-

maßnahmen. Der Prozess zur Erstellung der TNA findet unter dem Dach der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen statt und soll Entwicklungsländer dabei unterstützen, die SDG und die Ziele aus dem Pariser Klimaabkommen zu erreichen.

Abbildung 3: Übersicht der Länder mit TNA-Bericht



Quelle: UNFCCC o.J.

Bislang wurden von 85 Ländern TNA-Berichte erstellt (UNFCCC o.J.).² Eine geographische Verteilung dieser Länder findet sich in Abbildung 3.

Für die vorliegende Untersuchung wurden 74 öffentlich zugängliche TNA-Berichte im Hinblick darauf ausgewertet, welche SDGs in den Berichten genannt werden. Hierbei konnte auf vorhandene Auswertungen und Einschätzungen des Partnerschaftsprogramms zwischen der Technical University of Denmark (DTU) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) zurückgegriffen werden (UNEP/DTU o.J.). Im zweiten Schritt wurden die 74 TNA-Berichte hinsichtlich der dort priorisierten Technologien ausgewertet.

Insgesamt zeigt sich ein recht einheitliches Bild hinsichtlich der priorisierten SDGs (vgl. Tabelle 4 im Anhang). Obwohl die meisten TNA vor dem Hintergrund der Klimadiskussion erstellt wurden und dementsprechend einen starken Fokus auf die SDGs Nr. 7 ("Bezahlbare und saubere Energie") und 13 ("Klimaschutz und Anpassung") haben, werden in den Berichten auch die SDGs Nr. 6 ("Sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen"), Nr. 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden"), Nr. 12 ("Nachhaltige Produktion und Konsum") und Nr. 15 ("Leben an Land") als sehr wichtig angesehen.

Im zweiten Analyseschritt wurden die TNA mit Blick auf die Umwelttechnologien ausgewertet, die von den Ländern als prioritär identifiziert wurden. Hierbei wurden in den 74 betrachteten TNAs

² Stand Mai 2020.

- ▶ von 60 Ländern Technologien aus dem Energiesektor,
- ▶ von 59 Ländern Technologien aus dem Bereich der Landwirtschaft,
- ▶ von 55 Ländern Technologien aus den Bereichen Wasser/Abwasser,
- ▶ von 24 Ländern Technologien aus dem Bereich der Mobilität

identifiziert.

Weitere wichtige Sektoren waren der Küstenschutz (17 Nennungen), die Forstwirtschaft (17 Nennungen) und die Abfallwirtschaft (13 Nennungen).

In Bezug auf die vier oben genannten Sektoren wurden folgende Technologien als prioritär genannt:

- ▶ **Prioritäre Technologien und Maßnahmen im Energiesektor:**
 - Erneuerbare Energien: Photovoltaik, Wind, Biogas/Deponiegas, Solarthermie, Geothermie, Gezeitenkraftwerke,
 - Gas- und Dampfkraftwerke,
 - Kraft-Wärme-Kopplung,
 - Energiesparende Leuchtmittel, Boiler, Heizung, Klimatisierung,
 - Energieeffiziente Kochstellen (Holz, Holzkohle).
- ▶ **Prioritäre Technologien und Maßnahmen in der Landwirtschaft:**
 - Entwicklung und Einsatz von hitze- und dürreresistenten Pflanzen,
 - Erhöhung der Pflanzendiversität,
 - Maßnahmen zum Umgang mit Dürreperioden,
 - Technologien zum Wassermanagement und zur Bewässerung (Frischwasserspeicher, Pumpen, Tropfenbewässerungssystem),
 - Techniken des ökologischen Landbaus,
 - Konservierende Landwirtschaft/Bodenerhaltung.
- ▶ **Prioritäre Technologien und Maßnahmen im Wasser- und Abwassersektor:**
 - Technologien zur Regenwassersammlung, -aufbereitung und -speicherung,
 - Technologien zum Recycling von Abwasser,
 - Technologien zur Wasserentsalzung,
 - Brunnenbohren,
 - Monitoring- und Frühwarnsysteme sowie Modellierung,

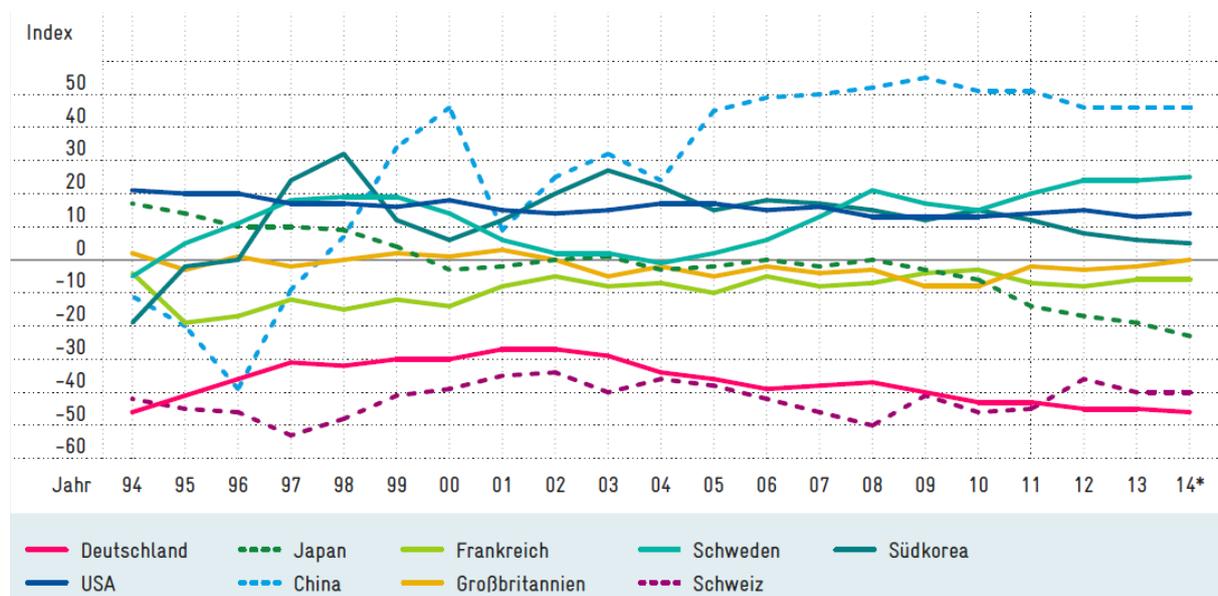
- Integriertes Management von Wasserressourcen.
- ▶ **Prioritäre Technologien und Maßnahmen im Mobilitätssektor**
 - Alternative Antriebe: Gas, Bioethanol, Hybrid-Antrieb, E-Antrieb, Brennstoffzelle,
 - Effizienzstandards für Fahrzeuge und Überwachung,
 - Verkehrsflusssteuerung,
 - Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs: Ticketing-Systeme, Integration, Infrastruktur.

2.3 Beschreibung des deutschen Technologieprofils

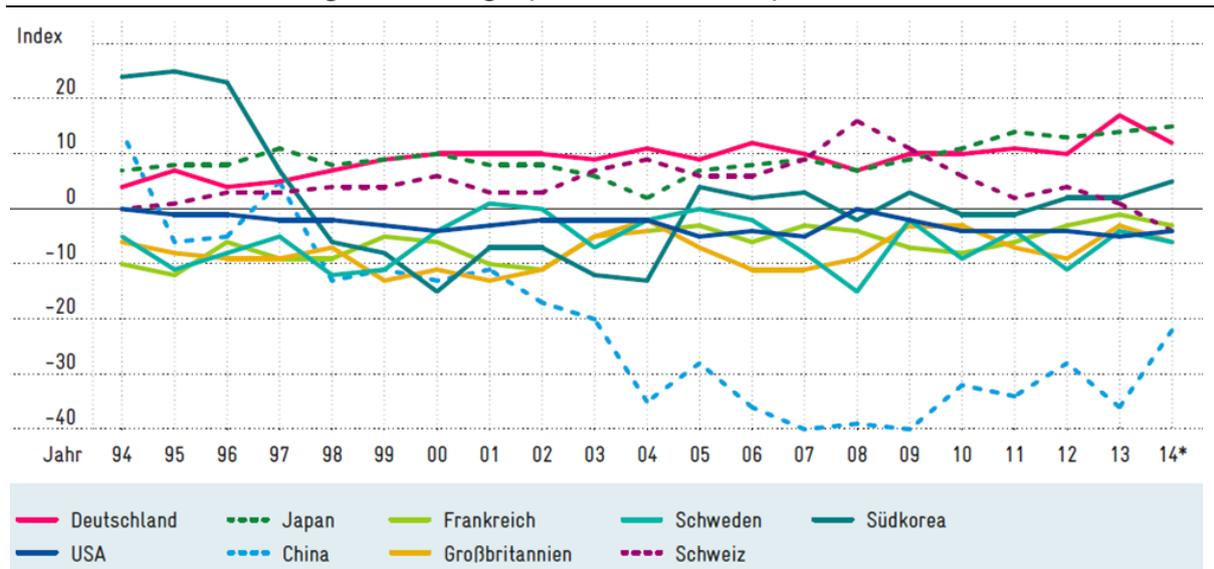
Am Innovationsgeschehen im Bereich der Umwelttechnologien sind zahlreiche Branchen, wie z. B. der Maschinenbau, die Chemie- und die Elektrobranche, beteiligt. Daher setzt die Beschreibung des deutschen Technologieprofils zunächst auf der Ebene der deutschen Volkswirtschaft an. Ausgehend von einer allgemeinen Beschreibung des deutschen Technologieprofils und dem Vergleich mit anderen Ländern kann die spezielle Situation bei den Umwelttechnologien besser beurteilt werden.

Die Expertenkommission für Forschung und Innovation (EFI) hat anhand von Patentdaten untersucht, inwieweit Deutschland auf F&E-intensive Güter spezialisiert ist (Abbildung 4 und Abbildung 5). F&E-intensive Güter sind Güter aus Branchen, die mehr als 3 % ihres Umsatzes für F&E einsetzen. Bei den F&E-intensiven Gütern kann wiederum zwischen hochwertigen Technologien (F&E-Quote 3-9 %) und Spitzentechnologien (z. B. Technologien für die Luft- und Raumfahrt) mit einer F&E-Quote von mehr als 9 % unterschieden werden. Positive bzw. negative Werte des von der EFI berechneten Spezialisierungsindex geben an, ob das betrachtete Land im Vergleich zum Weltdurchschnitt über- bzw. unterproportional aktiv ist.

Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung des Spezialisierungsindex ausgewählter Länder im Bereich Spitzentechnologie (F&E-Quote > 9 %)



Quelle: EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2017

Abbildung 5: Zeitliche Entwicklung des Spezialisierungsindex ausgewählter Länder im Bereich hochwertiger Technologie (F&E-Quote 3 %-9 %)


Quelle: EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2017

Anhand der beiden Abbildungen ist zu erkennen, dass Deutschland eine leichte positive Spezialisierung auf hochwertige Technologien, wie z. B. Produkte aus dem Fahrzeug- oder Maschinenbau, aufweist, aber auf Spitzentechnologien deutlich negativ spezialisiert ist. Das Spezialisierungsprofil Deutschlands ist im Zeitverlauf relativ konstant. Es ähnelt hierbei dem der Schweiz sowie dem von Japan und unterscheidet sich relativ deutlich vom Spezialisierungsprofil Chinas, das sich in den letzten 15 Jahren durch eine zunehmende Ausrichtung auf Spitzentechnologien gegenläufig entwickelt hat.

Aus diesen Zahlen lässt sich die Hypothese ableiten, dass das Spezialisierungsprofil Deutschlands, Japans und der Schweiz eine gute Ausgangsposition für den Transfer "grüner" Technologien in Schwellen- und Entwicklungsländer darstellt, da für den Aufbau von Industrien und Infrastrukturen zunächst hochwertige Technologien benötigt werden. Diese sind zudem hinsichtlich der erforderlichen technologischen Kompetenzen im Zielland weniger voraussetzungsvoll als Spitzentechnologien.

Im nächsten Schritt stellt Tabelle 1 den Spezialisierungsindex Deutschlands für ein Set von Umwelttechnologien dar. Analog zum Spezialisierungsindex in Abbildung 4 und Abbildung 5 geben positive bzw. negative Werte des Spezialisierungsindex (Relative Patenting Advantage, RPA) an, ob die Patentaktivitäten deutscher Erfinder bei den betrachteten Technologien im Vergleich zum Weltdurchschnitt über- bzw. unterproportional hoch sind. Die RPA-Werte sind auf einer Skala von -100 bis +100 normiert und basieren auf dem Mittelwert der jährlichen RPA-Werte in den Jahren 2015 bis 2017. Zur besseren Übersichtlichkeit sind hohe positive RPA-Werte in grüner Farbe dargestellt und hohe negative Werte in roter Farbe. In der Tabelle sind auch die SDGs angegeben, zu deren Erreichen die jeweilige Technikgruppe einen Beitrag leistet (siehe Kap. 2.1), so dass hierdurch ein Zusammenhang zwischen dem deutschen Technologieprofil und den SDGs hergestellt werden kann.

Tabelle 1: Spezialisierung Deutschlands für Umwelttechnologien (RPA 2015 - 2017)

Techniklinie	Technikgruppe	SDG	RPA
Wassernutzungseffizienz- Geräte	Wassernutzungseffizienz	12,13,14,15	89,0
Hybride	Antriebe	13	74,5
Abwasserableitung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	65,3
Stoffvereinzelnung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	64,8
Verbrennungsmotor	Antriebe	13	59,7
Schienefahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	58,4
Windkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	55,8
Trockner	Ind. Querschnittstechnologien	12	49,9
E-Motoren	Antriebe	13	49,6
Heizsystem	Gebäudetechnik	11	48,8
BHKW	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	48,7
Ethanol	Biokraftstoffe	12,13	40,2
CCS-OXY	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	38,7
Stofftrennung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	38,0
Regenwassergewinnung	Wasserversorgung	1,2,3,6	34,3
Kompostierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	34,3
Schieneverkehr	Verkehrsinfrastruktur	11,13	33,7
Wärmepumpe	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	31,5
Rauchgasreinigung	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	30,3
Haushaltsgeräte	Energiesparende Geräte	7,12	29,6
Materialeinsparung	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	25,7
Wasserversorgung- Verteilung	Wasserversorgung	1,2,3,6	24,4
Straßen- und Luftinfrastruktur	Verkehrsinfrastruktur	11,13	23,5
Dampferzeugung	Ind. Querschnittstechnologien	12	19,9
Mobilität-Brennstoffzelle	Antriebe	13	19,6
Straßenfahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	14,0
CCS-PRE	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	12,8
Abfall-Transport	Abfallsammlung	3,6,12,13,14,15	12,3
Langlebigkeit	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	11,3
Wärmetauscher	Ind. Querschnittstechnologien	12	10,2

Tabelle 1 (Forts.): Spezialisierung Deutschlands für Umweltechnologien (RPA 2015 - 2017)

Techniklinie	Technikgruppe	SDG	RPA
Mess-Steuer-Regeltechnik	Hochwasserschutz	1,3	9,9
Lärm	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	8,4
Geothermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	7,5
Langstreckenübertragung	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	6,9
Wasserstofftechnologie	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	4,0
Automatisierung	Gebäudetechnik	11	1,2
Katalysatoren	nachgeschalt. Emissionsred. Fhze.	3	-1,3
Öfen	Ind. Querschnittstechnologien	12	-2,2
Prozessindustrie	Industrielle Prozesse	12	-2,8
Membrantechnik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-8,0
Wasseraufbereitung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-13,1
Biodiesel	Biokraftstoffe	12,13	-13,4
Biomasse	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-15,6
Abfall-Verbrennung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	-19,1
Photovoltaik	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-19,9
Schiffe	Fahrzeugtechnik	13	-20,1
Solarthermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-22,0
Wasserkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-26,3
Flugzeuge	Fahrzeugtechnik	13	-30,3
Bewässerung	Ernährung + Landwirtschaft	1,2,3	-32,3
Gaskraftwerk	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-33,2
Brennstoffzelle	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-42,0
Digitalisierung	IT	3,8,11,12	-45,1
Entsalzung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-46,1
Kühlung	Ind. Querschnittstechnologien	12	-48,9
2nd Generation Biokraftstoffe	Biokraftstoffe	12,13	-49,7
Schlammbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-49,8
Abwasserbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-50,0
Wasseranalytik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-50,4
Deponierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	-59,7
Klimatisierung	Gebäudetechnik	11	-65,3

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

Die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse machen deutlich, dass Deutschland über eine hohe Spezialisierung seiner Patentaktivitäten auf die Technikgruppe "Antriebe" verfügt. Hierzu zählen beispielsweise der Hybridantrieb, der Elektroantrieb und effiziente Verbrenner. Auch auf Technologien zur Herstellung von Bioethanol als alternativen Treibstoff ist Deutschland überdurchschnittlich stark spezialisiert. Weiterhin zeigt sich eine Spezialisierung in den Bereichen Schienenfahrzeuge und Schienenverkehrsinfrastruktur. Durch die genannten Technologielinien, die allesamt dem Technologiefeld "Mobilität" zugeordnet werden können, können Beiträge zum Erreichen der SDG Nr. 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden") und insbesondere SDG Nr. 13 ("Klimaschutz") geleistet werden. Neben den genannten Technologien aus dem Mobilitätsbereich zeigt sich auch eine starke positive Spezialisierung (RPA-Werte > 40) auf wassernutzungseffiziente Geräte, Abwasserableitung, Stoffvereinzelnung, Windkraft, Industrietrockner, Heizsysteme und Blockheizkraftwerke (BHKW).

Eine negative Spezialisierung der deutschen Patentaktivitäten ist teilweise im Bereich Abwasser anhand der stark negativen RPA-Werte für die Technologien "Schlammbehandlung", "Abwasserbehandlung" und "Wasseranalytik" zu erkennen. Gerade diese Technologien können jedoch zum Erreichen zahlreicher SDGs einen Beitrag leisten und werden auch in vielen TNA-Berichten explizit genannt. Darüber hinaus zeigt sich eine starke negative Spezialisierung (RPA-Wert < -40) bei den folgenden Technologien: Klimatisierung, Diagnoseverfahren, Deponierung, Biokraftstoffe der zweiten Generation, industrielle Kühlung, Entsalzung, Digitalisierung und bei der stationären Brennstoffzelle.

Anhand der Tabelle 2 und Tabelle 3 können - wiederum basierend auf Patentdaten - weitere Aussagen zum Technologieprofil Deutschlands im internationalen Vergleich getroffen werden. Hierzu wurden die USA, China, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan und Südkorea in die Analyse einbezogen. Die Abbildungen stellen die Anteile der Länder an den weltweiten Patenten (Tabelle 2) und den Spezialisierungsindex (RPA) der betrachteten Länder (Tabelle 3) dar. Hier werden ebenfalls die entsprechenden SDGs genannt, für deren Erreichen die Technologie einen Beitrag leisten kann. Anhand der farbigen Hervorhebung hoher (grün) bzw. niedriger Werte (rot) innerhalb der Tabelle lässt sich intuitiv ein Überblick über die relative Innovationsstärke und die Spezialisierung des Innovationssystems auf die jeweiligen Technologien gewinnen.

Tabelle 2: Anteile der Länder an den weltweiten Umweltpatenten in Prozent, Mittelwert der Jahre 2015-2017

Techniklinie	Technikgruppe	SDG	Anteile									
			CN	DE	FR	GB	IT	JP	KR	US		
Abfall-Verbrennung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	18%	10%	5%	6%	3%	17%	8%	13%		
Deponierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	14%	6%	5%	3%	5%	28%	9%	10%		
Kompostierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	19%	6%	5%	11%	3%	0%	3%	18%		
Abfall-Transport	Abfallsammlung	3,6,12,13,14,15	10%	13%	9%	2%	7%	7%	2%	18%		
Abwasserableitung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	6%	26%	4%	6%	3%	4%	4%	19%		
Abwasserbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	12%	7%	5%	3%	1%	20%	8%	18%		
Membrantechnik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	5%	11%	3%	2%	1%	27%	7%	24%		
Schlammbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	13%	7%	5%	1%	3%	18%	9%	15%		
Wasseranalytik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	16%	7%	4%	4%	1%	26%	4%	20%		
E-Motoren	Antriebe	13	9%	20%	7%	3%	2%	33%	5%	9%		
Mobilität-Brennstoffzelle	Antriebe	13	2%	14%	6%	3%	0%	38%	11%	14%		
Hybride	Antriebe	13	6%	31%	9%	2%	2%	31%	2%	8%		
Verbrennungsmotor	Antriebe	13	2%	23%	6%	4%	3%	33%	2%	13%		
Biodiesel	Biokraftstoffe	12,13	6%	10%	7%	3%	3%	9%	1%	21%		
2nd Generation Biokraftstoffe	Biokraftstoffe	12,13	11%	7%	8%	4%	4%	16%	5%	14%		
Ethanol	Biokraftstoffe	12,13	8%	18%	6%	5%	3%	9%	3%	20%		
Haushaltsgeräte	Energiesparende Geräte	7,12	23%	16%	0%	1%	9%	10%	23%	3%		
Langstreckenübertragung	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	3%	13%	2%	4%	1%	26%	7%	29%		
Wasserstofftechnologie	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	4%	12%	5%	4%	4%	16%	7%	25%		
Bewässerung	Ernährung + Landwirtschaft	1,2,3	12%	8%	3%	3%	3%	13%	3%	25%		
Biomasse	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	7%	11%	13%	1%	7%	7%	7%	12%		
Geothermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	10%	9%	5%	1%	4%	17%	7%	15%		
Photovoltaik	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	18%	9%	4%	3%	2%	23%	12%	14%		
Solarthermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	13%	10%	7%	2%	5%	7%	2%	16%		
Wasserkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	6%	9%	12%	8%	3%	19%	6%	14%		
Windkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	6%	22%	2%	6%	1%	9%	3%	12%		
Flugzeuge	Fahrzeugtechnik	13	7%	8%	10%	7%	2%	11%	3%	39%		
Schienefahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	10%	23%	6%	2%	1%	27%	4%	12%		
Schiffe	Fahrzeugtechnik	13	6%	9%	5%	4%	3%	24%	14%	11%		
Straßenfahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	1%	13%	17%	1%	3%	40%	3%	13%		
Automatisierung	Gebäudetechnik	11	12%	12%	9%	6%	5%	5%	3%	26%		
Heizsystem	Gebäudetechnik	11	10%	20%	7%	2%	8%	10%	7%	10%		
Klimatisierung	Gebäudetechnik	11	22%	5%	3%	2%	2%	36%	9%	8%		
Impfungen	Gesundheitsprophylaxe	1,2,3	7%	9%	5%	4%	1%	7%	4%	37%		
Mess-Steuer-Regeltechnik	Hochwasserschutz	1,3	9%	13%	6%	3%	4%	8%	17%	12%		
Dampferzeugung	Industrielle Querschnittstechnologien	12	9%	14%	5%	1%	4%	21%	7%	14%		
Kühlung	Industrielle Querschnittstechnologien	12	11%	7%	3%	1%	2%	46%	6%	14%		
Öfen	Industrielle Querschnittstechnologien	12	8%	11%	5%	3%	3%	25%	6%	18%		
Trockner	Industrielle Querschnittstechnologien	12	13%	21%	4%	3%	6%	11%	6%	14%		
Wärmetauscher	Industrielle Querschnittstechnologien	12	5%	13%	12%	2%	3%	24%	4%	16%		
Prozessindustrie	Industrielle Prozesse	12	6%	11%	5%	2%	2%	29%	7%	16%		
Digitalisierung	IT	3,8,11,12	18%	7%	3%	3%	1%	20%	6%	25%		
BHKW	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	1%	20%	4%	3%	3%	20%	5%	15%		
Brennstoffzelle	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	1%	7%	4%	3%	0%	51%	11%	11%		
CCS-PE	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	9%	13%	5%	2%	6%	13%	3%	22%		
CCS-OXY	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	4%	18%	14%	3%	3%	14%	3%	23%		
Gaskraftwerk	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	1%	8%	8%	7%	2%	13%	1%	46%		
Wärmepumpe	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	9%	16%	7%	1%	3%	28%	7%	6%		
Lärm	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	5%	13%	9%	4%	2%	26%	2%	21%		
Rauchgasreinigung	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	8%	16%	4%	4%	2%	22%	6%	19%		
Katalysatoren	nachgeschalt. Emissionsred. für Fhzeuge	3	2%	12%	3%	8%	1%	43%	2%	18%		
Langlebigkeit	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	6%	13%	5%	2%	2%	31%	6%	19%		
Materialeinsparung	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	9%	15%	6%	2%	2%	25%	6%	16%		
Stofftrennung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	7%	18%	4%	5%	5%	11%	4%	19%		
Stoffvereinzelnung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	10%	26%	4%	3%	4%	9%	5%	13%		
Diagnoseverfahren	Soziales Gesundheitssystem	1,2,3,5	7%	6%	3%	2%	1%	24%	6%	27%		
Schieneverkehr	Verkehrsinfrastruktur	11,13	11%	19%	12%	9%	2%	3%	2%	8%		
Straßen- und Luftinfrastruktur	Verkehrsinfrastruktur	11,13	9%	15%	5%	6%	4%	7%	7%	19%		
Wassernutzungseffizienz- Geräte	Wassernutzungseffizienz	12,13,14,15	13%	51%	0%	8%	2%	9%	5%	2%		
Entsalzung	Wasserversorgung	1,2,3,6	8%	7%	5%	3%	1%	26%	10%	16%		
Regenwassergewinnung	Wasserversorgung	1,2,3,6	11%	6%	6%	3%	0%	18%	11%	7%		
Wasseraufbereitung	Wasserversorgung	1,2,3,6	10%	10%	5%	3%	2%	18%	9%	20%		
Wasserversorgung- Verteilung	Wasserversorgung	1,2,3,6	10%	15%	6%	2%	3%	12%	8%	12%		

Grün (Rot) = Hoher (Niedriger) Anteil des Landes an den weltweiten Patenten der Techniklinie

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

Tabelle 3: Spezialisierung der Länder bei Umweltpatenten (RPA 2015-2017)

Techniklinie	Technikgruppe	SDG	RPA							
			CN	DE	FR	GB	IT	JP	KR	US
Abfall-Verbrennung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	20,6	-19,1	-3,4	55,0	32,3	-15,8	28,4	-55,8
Deponierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	-10,7	-59,7	8,2	-20,5	73,7	34,4	26,8	-69,2
Kompostierung	Abfallbehandlung + -beseitigung	3,6,12,13,14,15	50,5	34,3	81,5	79,2	89,4	k.A.	28,0	-29,6
Abfall-Transport	Abfallsammlung	3,6,12,13,14,15	-42,1	12,3	42,8	-44,1	83,5	-75,5	-84,9	-30,3
Abwasserableitung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-75,2	65,3	-27,3	50,4	1,1	-89,3	-41,6	-22,1
Abwasserbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-25,3	-50,0	0,9	-9,3	-44,5	-1,1	22,2	-24,2
Membrantechnik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-77,7	-8,0	-34,6	-41,0	-34,8	31,9	8,7	-0,2
Schlammbehandlung	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-18,9	-49,8	8,7	-69,5	36,2	-8,0	34,2	-43,1
Wasseranalytik	Abwasser	1,2,3,6,12,14,15	-1,0	-50,4	-23,8	10,0	-42,4	29,1	-36,2	-17,5
E-Motoren	Antriebe	13	-48,2	49,6	34,1	-13,0	-3,2	47,8	-20,5	-76,0
Mobilität-Brennstoffzelle	Antriebe	13	-94,8	19,6	20,5	-7,6	-89,0	59,1	56,0	-50,3
Hybride	Antriebe	13	-74,4	74,5	53,3	-54,6	-19,7	41,1	-82,5	-76,7
Verbrennungsmotor	Antriebe	13	-97,1	59,7	29,0	5,8	39,8	49,2	-79,6	-53,9
Biodiesel	Biokraftstoffe	12,13	-69,4	-13,4	29,5	-12,9	20,2	-66,5	-87,7	-11,4
2nd Generation Biokraftstoffe	Biokraftstoffe	12,13	-32,4	-49,7	38,2	4,8	50,7	-22,4	-10,6	-45,8
Ethanol	Biokraftstoffe	12,13	-57,2	40,2	19,5	31,6	19,9	-65,6	-60,5	-18,0
Haushaltsgeräte	Energiesparende Geräte	7,12	41,7	29,6	-98,3	-65,9	89,1	-55,5	86,9	-95,6
Langstreckenübertragung	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	-90,3	6,9	-72,1	17,4	-62,1	27,8	2,9	21,1
Wasserstofftechnologie	Energiespeicher und -verteilung	7,9,12,13	-82,9	4,0	-3,6	22,0	47,4	-18,2	3,2	6,8
Bewässerung	Ernährung + Landwirtschaft	1,2,3	-20,2	-32,3	-47,2	21,1	38,0	-35,6	-51,3	3,5
Biomasse	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-58,7	-15,6	74,4	-71,5	31,5	-72,6	19,0	-55,6
Geothermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	8,0	7,5	32,8	-30,1	52,0	-17,5	52,0	-41,2
Photovoltaik	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-5,2	-19,9	-29,7	-4,5	-21,5	14,4	57,5	-46,4
Solarthermie	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-27,1	-22,0	36,4	-22,8	62,7	-76,1	-78,1	-36,7
Wasserkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-71,0	-26,3	71,4	61,2	26,6	-3,4	2,3	-45,5
Windkraft	Erneuerbare Energien	7,9,11,12,13	-72,3	55,8	-59,0	38,8	-73,5	-62,2	-68,0	-57,2
Flugzeuge	Fahrzeugtechnik	13	-64,2	-30,3	61,1	61,3	-22,2	-48,8	-66,5	46,1
Schienenfahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	-37,7	58,4	18,0	-42,9	-41,2	29,5	-39,7	-59,9
Schiffe	Fahrzeugtechnik	13	-71,7	-20,1	6,3	7,0	28,1	18,7	68,1	-65,9
Straßenfahrzeuge	Fahrzeugtechnik	13	-98,8	14,0	85,9	-79,9	38,0	61,8	-62,7	-53,0
Automatisierung	Gebäudetechnik	11	-20,6	1,2	51,0	45,6	64,7	-88,1	-58,9	7,9
Heizsystem	Gebäudetechnik	11	-36,5	48,8	38,3	-28,4	86,8	-56,9	12,4	-72,1
Klimatisierung	Gebäudetechnik	11	29,7	-65,3	-44,9	-63,7	-26,1	53,9	37,6	-80,6
Impfungen	Gesundheitsprophylaxe	1,2,3	-59,9	-25,1	2,6	13,1	-68,2	-78,7	-39,3	42,1
Mess-Steuer-Regeltechnik	Hochwasserschutz	1,3	-47,1	9,9	15,6	-11,8	38,7	-66,8	70,6	-56,7
Dampferzeugung	Ind. Querschnittstechnologien	12	-47,8	19,9	9,2	-81,4	45,5	7,2	4,0	-50,6
Kühlung	Ind. Querschnittstechnologien	12	-28,7	-48,9	-29,9	-76,2	-10,1	69,6	6,3	-48,2
Öfen	Ind. Querschnittstechnologien	12	-56,7	-2,2	12,1	-24,8	32,9	24,5	5,9	-27,3
Trockner	Ind. Querschnittstechnologien	12	-16,1	49,9	-15,9	-29,7	73,6	-48,3	3,1	-50,3
Wärmetauscher	Ind. Querschnittstechnologien	12	-76,6	10,2	73,6	-49,4	23,7	21,8	-38,3	-34,8
Prozessindustrie	Industrielle Prozesse	12	-75,8	-2,8	5,1	-64,9	1,1	38,2	18,9	-39,1
Digitalisierung	IT	3,8,11,12	15,8	-45,1	-37,0	-8,1	-49,0	3,4	2,7	3,6
BHKW	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-91,1	48,7	-26,9	-1,3	59,0	1,9	22,6	-43,0
Brennstoffzelle	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-96,9	-42,0	-13,7	-12,4	-86,3	74,9	56,7	-62,5
CCS-PFE	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-48,5	12,8	-4,6	-30,9	74,5	-35,5	-54,2	-7,8
CCS-OXY	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-87,1	38,7	79,0	-18,0	30,7	-31,2	-62,0	-3,7
Gaskraftwerk	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-99,2	-33,2	50,6	59,8	-5,6	-35,7	-90,8	57,2
Wärmepumpe	Kraftwerke und Umwandlung	7,9,13	-46,2	31,5	23,9	-67,5	16,4	33,3	14,7	-89,3
Lärm	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	-79,7	8,4	57,5	0,1	-20,7	27,3	-75,3	-11,8
Rauchgasreinigung	Lärm + Luftreinhaltung	3,12,13,14,15	-54,8	30,3	-5,3	17,6	-0,1	12,7	-7,6	-23,5
Katalysatoren	nachgeschalt. Emissionsred. Fhze.	3	-95,8	-1,3	-48,1	69,1	-52,5	65,7	-75,3	-27,6
Langlebigkeit	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	-75,1	11,3	10,8	-28,2	-13,5	44,6	-9,1	-19,2
Material einsparung	Produktionsprozesse + Ökodesign	12,13	-50,9	25,7	17,1	-36,9	0,3	26,0	7,2	-37,2
Stofftrennung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	-65,0	38,0	-22,9	36,4	72,7	-49,9	-44,7	-21,4
Stoffvereinzelnung	Recyclingprozesse	6,12,13,14,15	-42,1	64,8	-27,8	-20,0	36,2	-65,5	-22,7	-55,7
Diagnoseverfahren	Soziales Gesundheitssystem	1,2,3,5	-65,6	-60,4	-45,8	-31,1	-62,6	21,0	7,7	14,3
Schienenverkehr	Verkehrsinfrastruktur	11,13	-33,9	33,7	66,2	71,5	5,7	-86,7	-71,6	-76,9
Straßen- und Luftinfrastruktur	Verkehrsinfrastruktur	11,13	-48,4	23,5	7,0	44,2	42,2	-75,3	17,0	-24,8
Wassernutzungseffizienz- Geräte	Wassernutzungseffizienz	12,13,14,15	-13,1	89,0	k.A.	83,1	62,1	-64,0	65,3	-92,5
Entsalzung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-58,7	-46,1	-7,8	-19,0	-60,9	28,2	44,1	-35,5
Regenwassergewinnung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-1,6	34,3	86,1	75,0	k.A.	-20,3	63,1	-67,5
Wasseraufbereitung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-43,5	-13,1	8,8	-17,9	-19,3	-10,8	34,6	-17,2
Wasserversorgung- Verteilung	Wasserversorgung	1,2,3,6	-34,4	24,4	12,6	-32,1	14,9	-43,9	28,0	-56,3

Grün = Hohe positive Spezialisierung; Rot = Hohe negative Spezialisierung auf die Technologie

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

Anhand von Tabelle 2 lässt sich erkennen, dass die USA, Japan und Deutschland fast durchgängig einen mittleren bis hohen Anteil an den weltweiten Patenten haben. Vergleicht man die Mittelwerte der technologiespezifischen Patentanteile, so erreicht Japan hier 19,6 %, die USA 16,9 % und Deutschland 13,6 %. Die anderen Länder erreichen folgende Mittelwerte (MW): V.R. China (9 %), Frankreich (5,9 %), Großbritannien (3,5 %), Italien (2,9 %) und Südkorea (6,1 %). Der Anteil Deutschlands liegt bei allen betrachteten Technologien über 5 %, was auf ein relativ breites Portfolio an technologischen Kompetenzen hinweist. Von einigen Ausnahmen abgesehen, wie z. B. energieeffiziente Haushaltsgeräte in den USA, ist das Technologieportfolio der USA und von Japan ähnlich komplett. Bei den anderen betrachteten Ländern, der V.R. China, Frankreich, Südkorea und Großbritannien, gibt es dagegen zahlreiche Technologien, deren jeweiliger Anteil unter 5 % liegt. Teilweise gibt es in diesen Ländern ganze Technologiegruppen, wie z. B. Abwassertechnologien in Großbritannien, in denen kaum Patentaktivitäten zu beobachten sind.

Der in Tabelle 3 dargestellte Spezialisierungsindex zeigt dagegen, dass die USA trotz ihrer hohen Patentanteile eine negative Spezialisierung auf Umwelttechnologien aufweisen. Der Mittelwert (MW) über alle technologiespezifischen RPA-Werte liegt für die USA bei -35,1. Noch negativer ausgeprägt ist die Spezialisierung der V.R. China (MW = -46,9). Für die anderen Länder ist dagegen in der Gesamtheit weder eine positive noch eine negative Spezialisierung erkennbar, da die Mittelwerte nicht deutlich von 0 abweichen: Italien (MW = 11,5), Frankreich (MW = 10,5), Deutschland (MW = 5,3), Großbritannien (MW = -5,8), Südkorea (MW = -8), Japan (MW = -9,6).

Von ihrem Muster her bestätigen diese Zahlen frühere Ergebnisse aus Gehrke et al. (2019), wobei die Zahlen im Detail aufgrund von Abweichungen beim betrachteten Technologieportfolio und Zeitabschnitt etwas divergieren. Nachdem in diesem Kapitel die grundsätzliche Ausrichtung des deutschen Technologieportfolios auf die SDGs untersucht wurde und erste Erkenntnisse über die technologischen Bedarfe der Schwellen- und Entwicklungsländer gewonnen wurden, wird im folgenden Kapitel eine Betrachtung darüber angestellt, inwieweit Umwelttechnologien aus Deutschland qualitativ an die Erfordernisse von Entwicklungsländern angepasst werden können. Hierzu wird der Begriff der frugalen Innovation als Ausgangspunkt gewählt.

3 Entstehungsbedingungen für frugale Umwelttechnologien

3.1 Konzeptionelle Grundlagen

Der klassische Nord-Süd-Technologietransfer stellt nach Erkenntnissen der Forschung zum internationalen Technologietransfer hohe Anforderungen an die absorptiven Kapazitäten der aufnehmenden Länder (Alfaro et al. 2004). Angesichts der Schwierigkeiten bei der Anpassung von Technologien an die spezifischen Bedürfnisse von Entwicklungsländern werden neue, angepasste Konzepte und Leitbilder propagiert, wie z. B. "frugal innovation", "reverse innovation" oder "frugal engineering", die sich die eigenständigen Innovationskapazitäten der Entwicklungsländer zu Nutze machen (Jänicke 2014; Agarwal und Brem 2012). Zum Teil verfolgen auch Technologieunternehmen aus Industrieländern, wie z. B. Siemens und General Electric, für ausgewählte Produkte eine Strategie der frugalen Innovation, um Märkte in Schwellen- und Entwicklungsländern zu erschließen (Agarwal und Brem 2012). Nach Tiwari und Herstatt (2012, S. 2) sind frugale Innovationen, gekennzeichnet durch "affordability, robustness, and 'good enough' quality in a volume-driven market." Derartige Innovationen haben nicht nur das Potenzial, die Märkte der jeweiligen Länder zu erschließen, sondern können auch in andere Entwicklungsländer diffundieren (Süd-Süd-Transfer) und sogar aus dem globalen Süden heraus Märkte in Industrieländern erschließen (Süd-Nord-Transfer).

Frugale Innovationen können als Versuch interpretiert werden, Lösungen zu entwickeln, die unter Bedingungen der Knappheit funktionieren und positive Wirkungen entfalten, anstatt schnell an mangelnder Robustheit, Überspezifikation oder komplexen Wartungserfordernissen zu scheitern bzw. nie zur Anwendung zu kommen, da ihr Preis das lokal Erschwingliche übersteigt (Kroll und Gabriel 2017).

Fallbeispiel BharatBenz

BharatBenz ist eine Nutzfahrzeugmarke der Daimler AG, die auf dem indischen Markt aktiv ist und die versucht, den speziellen Anforderungen dieses Marktes mit einem frugalen Fahrzeugdesign gerecht zu werden. So ist in Indien nur die Hälfte des Straßennetzes asphaltiert, und auch die asphaltierten Strecken weisen häufig Schäden auf. Zahlreiche einspurige Straßen erfordern bei Gegenverkehr ein rasches Ausweichen in das Gelände. Viele ländliche Straßen auf dem indischen Subkontinent erlauben ohnehin nur Schrittgeschwindigkeit. Dies erfordert eine einfache Bauweise mit robuster und belastbarer Technik. Nutzfahrzeuge werden häufig überladen, so dass z. B. 200 PS-starke Sattelzüge mit dem Doppelten der maximal erlaubten 44 Tonnen Gesamtgewicht beladen werden. Entsprechend schwer tun sich europäische Hersteller mit dem indischen Markt. Besondere Anforderungen an Lastkraftwagen sind etwa die sehr stabilen Rahmen. Weitere Komponenten sind schwere, robuste Achsen und Blattfedern. Zudem müssen Pannen markenunabhängig von jedem örtlichen Mechaniker ohne elektronische Diagnosesysteme behoben werden können. BharatBenz lässt sich bei Design der Fahrzeuge von diesen Besonderheiten des indischen Marktes leiten und bietet zudem eine Ausstattung mit zahlreichen Assistenzsystemen an, um Unfälle zu vermeiden (Mishra 2012; Kern 2012).

Trotz der zumeist angestrebten positiven sozialen Wirkungen frugaler Innovation können diese nicht pauschal als Nachhaltigkeitsinnovationen aufgefasst werden, da die Auswirkungen auf die ökologische Dimension von Fall zu Fall beurteilt werden müssen. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit kann aber die Ausrichtung auf eine breite Nutzerbasis von entscheidender Bedeutung sein, da signifikante ökologische oder soziale Verbesserungen nur durch eine weite Verbreitung von Innovationen erzielt werden können. Gegenwärtig wird diese weite Verbreitung häufig durch den Preisaufschlag für nachhaltigere Lösungen gebremst. Daher könnte die Integration von frugalen Gestaltungsprinzipien in den Prozess der nachhaltigen Innovation dazu beitragen, solche Barrieren zu überwinden. Um positive Beiträge zur Nachhaltigkeit zu entfalten, sollten frugale Innovationen folgende Kriterien erfüllen (Gandenberger et al. 2020):

- ▶ Sie sind preiswert genug, um für weite Teile der Weltbevölkerung zugänglich zu sein, halten aber negative ökologische Rebound-Effekte in Grenzen;
- ▶ Sie sind robust, von hoher Qualität und wartungsarm, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten;
- ▶ Sie verwenden Materialien, die recycelt werden können;
- ▶ Sie verwenden keine toxischen Materialien bzw. weniger als konventionelle Produkte;
- ▶ Sie nutzen erneuerbare Energiequellen und/oder erhöhen die Energieeffizienz bei Herstellung und Nutzung;
- ▶ Sie beeinträchtigen nicht die allgemeinen Lebensgewohnheiten der Nutzer oder regen andere Verhaltensweisen in ökologisch nachteiliger Weise an.

Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, welche Treiber und Hemmnisse es für Akteure aus dem deutschen Innovationssystem gibt, das Konzept der frugalen Innovation aufzugreifen, und welche Erfahrungen bisher mit frugalen Innovationen gemacht wurden.

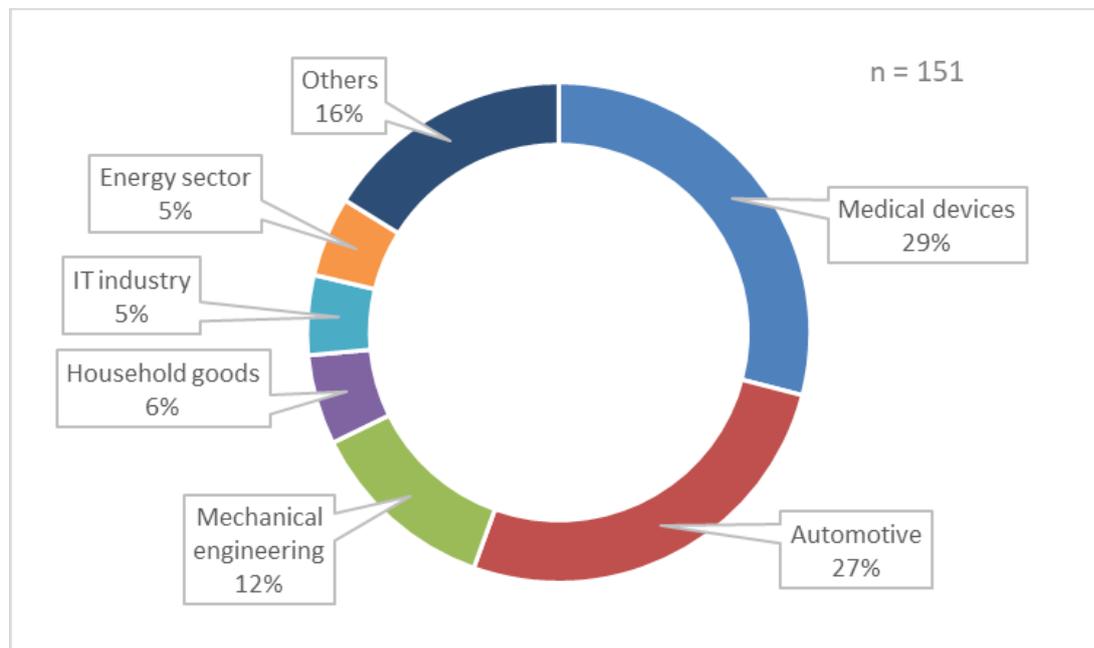
3.2 Treiber und Hemmnisse frugaler Innovationen

Zur Erörterung der Treiber und Hemmnisse frugaler Innovationen wurden im Rahmen dieser Ad-hoc-Studie zwei Expertengespräche geführt. Zunächst einmal wurde in den Gesprächen das Verständnis bestätigt, dass Kernaspekte der Frugalität in der zielgerichteten Konzentration auf Kernfunktionalität, Robustheit und Erschwinglichkeit des Produkts liegen. Frugale Innovationen sind zielgenau auf die Bedürfnisse der Nutzer ausgerichtet und lassen alles Übrige weg. Sie erreichen dadurch eine hohe Effizienz in der Ressourcennutzung. Allerdings wurde auch erwähnt, dass die oben genannten Dimensionen in ihrer Absolutheit manchmal zu kurz greifen, da es z. B. keine Vergleichsprodukte gibt, anhand derer die Preiswürdigkeit beurteilt werden könnte. Statt von niedrigen Preisen sollte besser von Erschwinglichkeit ('affordability') gesprochen werden.

Die vorliegende Forschung hat gezeigt, dass frugale Innovationen einerseits von Großunternehmen mit Aktivitäten in Schwellen- und Entwicklungsländern vorangetrieben werden, z. B. von der Medizintechniksparte von Siemens. Zudem ergeben sich aus der Maker-Bewegung wichtige Impulse. Hier verfolgen Akteure ein bestimmtes sozial oder ökologisch motiviertes Ziel, z. B. die Produktion einer 1\$-Brille für Menschen in Entwicklungsländern, das durch frugales Produktdesign erreicht werden soll (Wohlfart et al. 2016). Mittelständische Unternehmen haben teilweise Schwierigkeiten das Thema aufzugreifen, da sie häufig keine eigenen F&E-Kapazitäten besitzen und in Entwicklungsländern weniger präsent sind als Großunternehmen (Wohlfart et al. 2016).

Die Ergebnisse einer Publikationsanalyse von Tiwari und Bergmann (2019) zeigen, dass die Medizintechnik- und die Automobilbranche sowie der Maschinenbau einen besonders starken Bezug zum Thema frugale Innovationen haben (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Branchen mit besonderem Bezug zu frugalen Innovationen



n = Anzahl der betrachteten Publikationen

Quelle: Tiwari und Bergmann 2019

Ein wichtiges Motiv, das dazu führt, dass Unternehmen das Konzept der frugalen Innovation aufgreifen, ist die Erschließung von Märkten in Schwellen- und Entwicklungsländern. Hierbei dienen frugale Innovationen häufig als Sprungbrett, um später auch höherwertige Produkte verkaufen zu können. Zugleich können frugale Innovationen aber auch eine Defensivstrategie sein, um Wettbewerber aus dem Niedrigpreissegment auf angestammten Märkten besser abwehren zu können. Ein weiteres wichtiges Motiv für frugale Innovationen sind Beiträge zur sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit.

In Bezug auf den Innovationsprozess selbst lassen sich einige Unterschiede zu konventionellen Innovationsprozessen ausmachen. Wichtig ist das richtige "Mindset" des Innovationsteams, die Kombination traditioneller und agiler Ansätze im Innovationsmanagement sowie die hohe Bedeutung der frühen Phase des Innovationsprozesses. Um frugale Innovationsprozesse zu gestalten, reicht ein Defeaturing, bei dem bestimmte Funktionen oder Merkmale des Produktes, die hohe Kosten verursachen, einfach weggelassen werden, in der Regel nicht aus. Stattdessen sind radikal neue Ansätze notwendig, die ein over-engineering gezielt vermeiden. Problematisch ist hierbei jedoch die Abhängigkeit von bestehenden Entwicklungsplattformen, wodurch Gestaltungsspielräume eingeengt werden können. Weiterhin müssen Wege gefunden werden, um die Anforderungen und Kontextbedingungen des Zielmarktes frühzeitig im Innovationsprozess zu berücksichtigen. Hierbei kann auf die Erfahrung der Mitarbeiterschaft oder Experten und Expertinnen aus dem Zielland, die Methode der teilnehmenden Beobachtung oder die Durchführung von Workshops vor Ort zurückgegriffen werden. Wichtig ist die präzise Definition der lokalen Bedürfnisse, damit diese im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden können.

Folgende Barrieren können einer Entwicklung frugaler Produkte im Wege stehen:

- ▶ Geringe Bekanntheit des Konzepts in Unternehmen,
- ▶ Falsches Verständnis von Frugalität (z. B. frugal innovationen = low tech),
- ▶ Plattformabhängigkeit und Pfadabhängigkeit von Innovationsprozessen,
- ▶ Risiko der Kannibalisierung höherwertiger Produkte,
- ▶ Risiko der Produktionsverlagerung in Niedriglohnländer,
- ▶ Politische Risiken in den Zielländern (Korruption, Instabilität),
- ▶ Fehlende Vertriebsstrukturen vor Ort,
- ▶ Fehlende Finanzierungsmöglichkeiten der Käufer.

3.3 Fallstudien zu frugalen Umweltinnovationen aus Deutschland

Im nächsten Schritt werden zwei Beispiele frugaler Umweltinnovationen aus Deutschland analysiert. Die Fallstudien beschreiben kurz die wesentlichen Aspekte der Innovation und sollen das Verständnis für das Innovationsgeschehen bei frugalen Innovationen verbessern. Hierzu wird ein morphologischer Kasten (Zwicky 1969) als Analyseinstrument verwendet, um wichtige Parameter frugaler Nachhaltigkeitsinnovationen systematisch herauszuarbeiten (siehe Abbildung 7).

Da die Zahl der hier diskutierten Fälle sehr begrenzt ist, hat diese Analyse einen rein explorativen Charakter. Der erste Parameter des morphologischen Kastens beschreibt den Organisations-

typ (Not-for-Profit, Kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Großunternehmen, Universität/Forschungseinrichtung). Der zweite Parameter beschreibt, warum die Innovation als frugal bezeichnet werden kann. Anknüpfend an die Definition von Tiwari und Herstatt (2012) sind frugale Innovationen durch die Beschränkung auf die Erfüllung grundlegender Funktionen bzw. Qualitätserfordernisse (Funktionalität), Preiswürdigkeit und Robustheit gekennzeichnet.

Zusätzlich wurde hier der Aspekt der Autarkie ergänzt, da Umweltinnovationen häufig einen systemischen Charakter haben und ihre Funktionsfähigkeit auf das Vorhandensein komplementärer Infrastrukturen angewiesen ist. Der systemische Charakter von Umweltinnovation kann ein Hindernis für den Transfer in Entwicklungsländer sein, da komplementäre Infrastrukturen, wie z. B. eine flächendeckende Versorgung mit Elektrizität, Trinkwasser oder technischen Dienstleistungen fehlen. Dementsprechend wurde der Aspekt der Autarkie ergänzt, um hierdurch die Fähigkeit von Innovationen zu würdigen, trotz des Mangels an Komplementärgütern zu funktionieren.

Der dritte und vierte Parameter erfasst Innovationsart (Produkt, Dienstleistung oder Produkt-Dienstleistungs-System) und -grad (radikal, inkrementell). Der fünfte Parameter erfasst, inwieweit für den Transfer der frugalen Innovation in NIC bzw. LDC eine Präsenz vor Ort erforderlich ist. Abschließend werden die verschiedenen SDGs identifiziert, zu denen die Innovation einen Beitrag leisten kann.

Abbildung 7: Morphologischer Kasten für frugale Innovationen

Parameter	Konfiguration			
Organisations-typ	Not-for-profit Organisation	KMU	Großunternehmen	Universität/ Forschung
Kernaspekt der Frugalität	Konzentration auf Kernfunktionalität	Preis	Robustheit	Autarkie
Innovationsart	Produkt	Produkt-Dienstleistungs-System		Dienstleistung
Innovations-grad	Radikal		Inkremental	
Präsenz vor Ort	Eigenes Unternehmen bzw. lokale Tochter	Lokales Partnerunternehmen		NGO / Staatliche Institution
SDG-Beitrag				

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

3.3.1 SunMeetsWater (Dezentrale Trinkwasseraufbereitung)

Unternehmen

Autarkon ist ein 2010 gegründetes mittelständisches Unternehmen mit Sitz in Deutschland. Die Vision des Unternehmens ist die nachhaltige und langfristig zuverlässige Versorgung abgelegener ländlicher Regionen mit Trinkwasser durch dezentrale Aufbereitungsanlagen. Die Entstehung von Autarkon geht auf das Jahr 2003 zurück, als am Lehrstuhl für Effiziente Energiewandlung der Universität Kassel die Anforderungen an ein dezentrales energieautarkes Trinkwasser-

system definiert wurden. Um eine breite Anwendbarkeit der Technologie zu gewährleisten, wurden von Anfang der Entwicklung an soziale, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte mitberücksichtigt. Während der sechsjährigen Entwicklungszeit wurden nahezu alle potenziellen Bedingungen, denen ein solches System gerecht werden muss, getestet. Komponenten, die versagten, wurden neu entworfen oder entfernt. Die endgültige Version des "SuMeWa" (Sun Meets Water)-Systems wurde 2009 erfolgreich getestet und implementiert. Das Unternehmen ist derzeit in 10 Entwicklungsländern aktiv, unter anderem in Indien, Ägypten, Tansania und Nepal. Weltweit sind etwa 50.000 Menschen auf Wasser angewiesen, das von Autarkons Systemen aufbereitet wird, hauptsächlich in Dörfern, Krankenhäusern, Schulen und Universitäten (Otter 2012).

Ausgangssituation

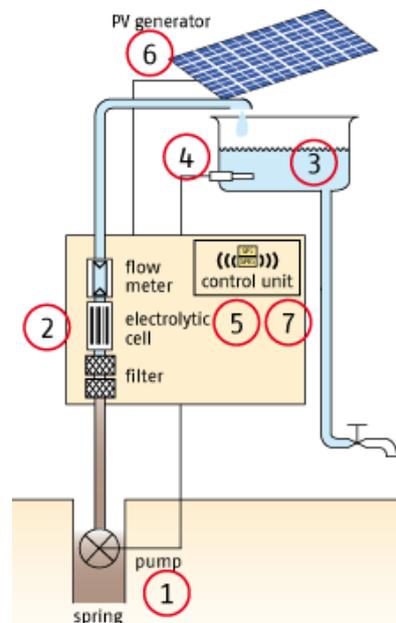
Technologien, die in städtischen Gebieten zur Desinfektion eingesetzt werden, wie Umkehrosmose oder ultraviolettes Licht, können Trinkwasser von ausgezeichneter Qualität liefern. In netzfernen Regionen können diese Technologien jedoch nicht dauerhaft mit Energie versorgt werden. Hier werden selbst einfache Pumpensysteme mit ineffizienten Dieselgeneratoren angetrieben. Darüber hinaus muss der Treibstoff häufig über sehr lange Strecken transportiert werden. Weiterhin erfordern die genannten Technologien die Zugabe von Chlor, um Wasser nach dem Behandlungsprozess zu desinfizieren. Solarenergie ist im Prinzip eine mögliche Alternative zur Versorgung von Wasseraufbereitungssystemen mit Energie. Der intermittierende Charakter dieser Energiequelle erfordert jedoch eine Batteriespeicherung. Selbst optimal ausgelegte Systeme versagen häufig aufgrund von Problemen im Zusammenhang mit der Batterie, da diese gewartet und häufig gewechselt werden muss. Auch haben die Betreiber in netzfernen Regionen häufig weder die finanziellen Mittel noch das Fachwissen, um einen kontinuierlichen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten (Autarkon o.A.).

Lösungsansatz

Beim SuMeWa-System wird das Desinfektionsmittel Chlor vor Ort aus den im Wasser vorhandenen Mineralien produziert, um die Keimfreiheit des Wassers sicherzustellen. Hierfür werden keine Chemikalien benötigt. Durch Solarenergieversorgung kann jedes Aufbereitungssystem völlig autonom arbeiten. In Kombination mit den vollautomatisierten und wartungsfreien Filtrationsmodulen kann spezifisch auf lokale Rohwassergegebenheiten reagiert werden, um z. B. Trübungen, Eisen und Mangan dauerhaft zu entfernen. Ein Austausch der Filter ist nicht mehr notwendig. Als wesentlicher Vorteil ergibt sich dementsprechend daraus, dass keine externe Versorgung mit Chemikalien und Energie erforderlich ist. In Abbildung 8 wird die Funktionsweise des Systems dargestellt und im Folgenden kurz beschrieben (Autarkon o.A.):

1. Wasser wird durch die Tauchpumpe gefördert.
2. Verunreinigungen können durch einen automatisierten Filtrationsprozess entfernt werden.
3. In einem Anodischen Oxidations-Reaktor wird Chlor aus den schon im Wasser vorhandenen Salzen elektrolytisch hergestellt. Keime werden sicher abgetötet.
4. Im Tank wird das Wasser gespeichert. Von hier kann das Wasser entnommen oder über ein dezentrales Leitungsnetz zu nahegelegenen Verbrauchern geleitet werden.
5. Ein Sensor überwacht dabei ständig die Qualität des Wassers.
6. Die Regelung passt die Chlorproduktion entsprechend der Wasserqualität an und versendet auf Wunsch aktuelle Betriebsinformationen des Systems online.
7. SuMeWa-System arbeitet durch die mitgelieferten Solarmodule völlig energieautark. Es sind keine Batterien notwendig.

Abbildung 8: Funktionsweise des SuMeWa-Systems



Quelle: Autarkon

Einordnung der Innovation

Autarkons SuMeWa-System kann anhand von Abbildung 9 in die Diskussion um frugale Innovationen eingeordnet werden. Kernaspekte der Frugalität sind die Robustheit und die Autarkie des Systems in der Nutzungsphase. Die Innovationshöhe ist aufgrund des dezentralen Ansatzes und der neuartigen Kombination unterschiedlicher technologischer Komponenten hoch, ohne dass hierdurch eine zu hohe technologische Komplexität für die Nutzer erzeugt wird. Das Unternehmen Autarkon ist über lokale Kooperationspartner und Kontakte in zahlreichen NIC und LDC präsent und trägt mit seiner Innovation zum Erreichen der SDGs Nr. 3 ("Gesundheit und Wohlbefinden"), Nr. 6 ("Sauberes Wasser"), Nr. 7 ("Bezahlbare und saubere Energie"), Nr. 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden") und 13 ("Klimaschutz") bei. Das Unternehmen hat für seine Innovation zahlreiche nationale und internationale Innovationspreise bekommen.

Abbildung 9: Morphologischer Kasten für ein SuMeWa-System (Autarkon)

Parameter	Konfiguration				
Organisations-typ	Not-for-profit Organisation	KMU	Großunternehmen	Universität/ Forschung	
Kernaspekt der Frugalität	Konzentration auf Kernfunktionalität	Preis	Robustheit	Autarkie	
Innovationsart	Produkt	Produkt-Dienstleistungs-System		Dienstleistung	
Innovations-grad	Radikal		Inkremental		
Präsenz vor Ort	Eigenes Unternehmen bzw. lokale Tochter	Lokales Partnerunternehmen		NGO / Staatliche Institution	
SDG-Beitrag					

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

3.3.2 ME SOLshare (Schwarzelektrifizierung)

Unternehmen

Das Unternehmen ME SOLshare ist ein Spin-off-Unternehmen des Berliner Unternehmens MicroEnergy International (ME). ME verfügt über mehr als 10 Jahre Erfahrung in über 30 Ländern in Lateinamerika, Afrika und Asien und engagiert sich mit jeweils eigenen Sparten in den Bereichen Forschung, Design und Beratung im Bereich der Schwarzelektrifizierung. Das Unternehmen ME SOLshare wurde im Jahr 2014 gegründet und hat seinen Sitz in Dhaka, Bangladesch. ME SOLshare ist ein IKT-basiertes Sozialunternehmen, das Peer-to-Peer-Solarenergie-Handelsplattformen und Pay-as-you-go-Lösungen für einkommensschwache Haushalte anbietet. SOLshare verbindet solare Heimsysteme miteinander und ermöglicht seinen Nutzern, durch den Verkauf überschüssigen Stroms ein direktes Einkommen zu erzielen (MicroEnergy International o.A.).

Ausgangssituation

Die Zahl der Menschen, die ohne regelmäßigen Zugang zum Stromnetz leben, liegt bei knapp einer Milliarde. Zwar hat sich in den am wenigsten entwickelten Ländern der Anteil der Menschen mit Zugang zu Elektrizität zwischen 2000 und 2016 mehr als verdoppelt, jedoch kochten auch im Jahr 2016 immer noch 3 Milliarden Menschen mit unsauberen Brennstoffen und/oder Kochvorrichtungen (Vereinte Nationen 2018).

In einigen NIC und LDC sind insbesondere die ländlichen Räume nicht vollständig elektrifiziert, was für einen nachhaltigen Entwicklungsprozess ein bedeutendes Hemmnis darstellt. Der Ausbau dezentraler erneuerbarer Energiequellen kombiniert mit dem Aufbau von Peer-to-Peer-Mikronetzen kann hier ein wichtiger Lösungsbaustein sein (Burger und Weinmann 2017).

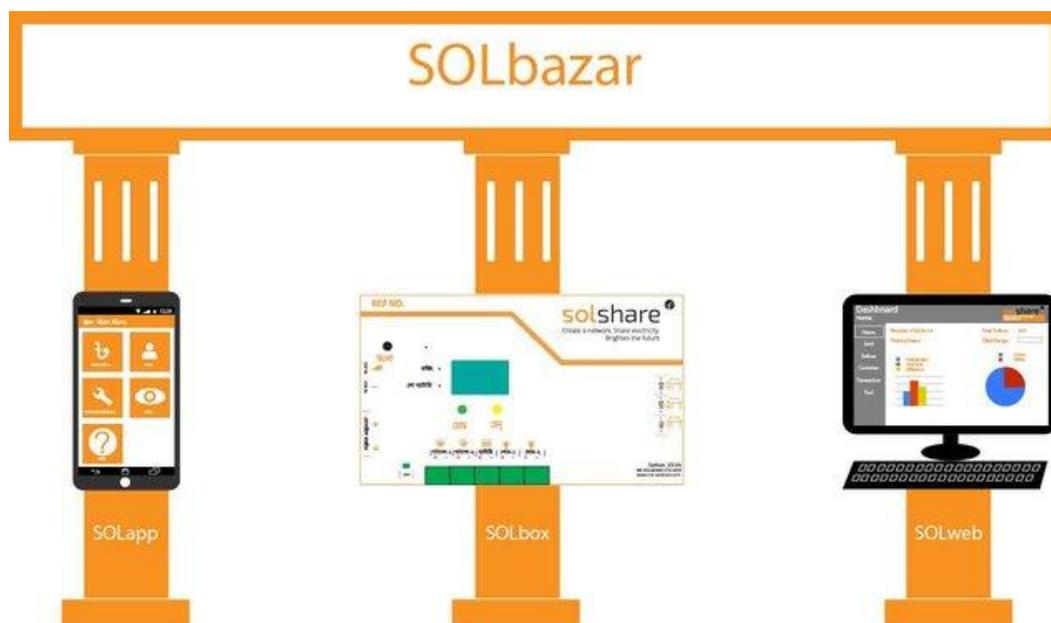
Lösungsansatz

Das Unternehmen SOLshare hat das System SOLbazaar entwickelt, eine Internet of Thing (IoT)-gesteuerte Handelsplattform, die es den Menschen ermöglicht, mit der überschüssigen Energie

zu handeln, die von haushaltseigenen PV-Anlagen erzeugt wird. Die eine Partei der Transaktion verdient Geld, die andere erhält Zugang zu preiswertem Strom. Die Energieverkäufer können sich auch dafür entscheiden, die überschüssige Energie zu behalten und für den Betrieb zusätzlicher Geräte wie Fernseher, Kühlschrank oder Computer zu verwenden.

Der SOLbazaar steht auf drei Säulen: der SOLbox, der SOLapp und dem SOLweb (Abbildung 10). Die SOLbox ist ein bidirektionaler Gleichstromzähler, der Peer-to-Peer-Stromhandel, intelligentes Netzmanagement, Fernüberwachung, mobile Geldzahlung und Datenanalyse ermöglicht. Die SOLbox ermöglicht die Schaffung eines intelligenten Gleichstromnetzes, das sich in bestehende Hardware wie eine PV-Anlage oder eine Batterie integrieren lässt und diese über die SOLbox mit anderen SOLboxen in nahe gelegenen Häusern oder Unternehmen verbindet. Durch die SOLbox kann ein Haus reibungslos mit einem anderen verbunden werden und schließlich zu einem Netzwerk aus zehn Häusern zusammengeschlossen werden, das dann mit weiteren lokalen Netzwerken verknüpft wird. Wenn das SOLshare-Netz wächst, kann es an das nationale Netz angeschlossen werden, im Inselbetrieb arbeiten, wenn das Netz nicht verfügbar ist, und Strom aus dem Netz beziehen, wenn es verfügbar ist.

Abbildung 10: Aufbau SOLbazaar



Quelle: MicroEnergy International o.A.

Einordnung der Innovation

Die Einordnung von ME SOLShare in den morphologischen Kasten lässt relativ große Ähnlichkeiten mit Autarkon erkennen. Auch hier wird die Innovation von einem KMU vorangetrieben, das eine dezentrale Lösung für eine Infrastruktur entwickelt hat, die in vielen NIC und LDC noch nicht vollständig entwickelt ist. Die Innovation löst Technologien, wie z. B. Diesel-Generatoren ab, die von der Bevölkerung als Ersatz für den fehlenden Anschluss an das öffentliche Stromnetz genutzt werden. Hierbei spielen die beiden Kernaspekte frugaler Innovationen Autarkie und Robustheit eine zentrale Rolle. Weiterhin benötigt das Unternehmen eine starke Präsenz vor Ort, in diesem Fall durch ein Spin-off in Dhaka (Bangladesch), um neben der Installation der SOLboxen in den Haushalten auch den Handel mit Strom innerhalb der Mikronetze zu organisieren. Es handelt sich bei dieser Innovation dementsprechend um eine Kombination aus Produkt und Dienstleistung, die durch die Abkehr vom Paradigma der zentralen Stromversorgung als radikale Inno-

vation eingestuft werden kann. SOLShare bietet den Haushalten die Möglichkeit, als Stromanbieter aufzutreten und somit Einkommen zu erzielen. Hierdurch können sich dann positive Beiträge zur Armutsbekämpfung (SDG Nr. 1) ergeben. Darüber hinaus ergeben sich positive Beiträge zu den SDGs Nr. 7 ("Bezahlbare und saubere Energie"), 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden") und 13 ("Maßnahmen zum Klimaschutz").

Abbildung 11: Morphologischer Kasten für ME SOLShare

Parameter	Konfiguration			
Organisations-typ	Not-for-profit Organisation	KMU	Großunternehmen	Universität/ Forschung
Kernaspekt der Frugalität	Konzentration auf Kernfunktionalität	Preis	Robustheit	Autarkie
Innovationsart	Produkt	Produkt-Dienstleistungs-System	Dienstleistung	
Innovations-grad	Radikal		Inkremental	
Präsenz vor Ort	Eigenes Unternehmen bzw. lokale Tochter	Lokales Partnerunternehmen	NGO / Staatliche Institution	
SDG-Beitrag				

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI

4 Fazit und Handlungsempfehlungen

Insgesamt ist die Spezialisierung Deutschlands und der anderen untersuchten Länder (CN, FR, GB, IT, JP, KR, US) auf Umweltechnologien zwar nicht sehr ausgeprägt, aber Deutschland verfügt bei fast allen relevanten Technologiebereichen über hohe technologische Kompetenzen, was durch mittlere bis hohe Anteile an den weltweiten Patentaktivitäten untermauert wird. Das im Vergleich zu anderen Ländern sehr ausgeglichene Technologieportfolio Deutschlands könnte für den Aufbau nachhaltiger Systemlösungen, bei denen verschiedene Technologien zu übergreifenden Systemlösungen kombiniert und aus einer Hand angeboten werden, ein Vorteil sein. Als ein weiterer Vorteil mit Blick auf den Transfer moderner Umweltechnologien in Richtung Schwellen- und Entwicklungsländer könnte sich die Fokussierung des deutschen Innovationssystems auf hochwertige Technologien herausstellen, da diese im Vergleich zu Spitzentechnologien anschlussfähiger sind an die Situation in Entwicklungsländern.

Eine besondere Stärke des deutschen Innovationssystems liegt im Bereich der nachhaltigen Mobilität (umweltfreundliche Antriebe, Schienenverkehr). Dieser Bereich leistet Beiträge zu den SDGs Nr. 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden"), 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion") und 13 ("Maßnahmen zum Klimaschutz") und wird auch in den TNA-Reports häufig als prioritär identifiziert. Darüber hinaus verfügt Deutschland in den ebenfalls sehr wichtigen Bereichen Energieversorgung und Energieeffizienz über hervorragende Kompetenzen, u. a. bei den

folgenden Technologien: Windkraft, Block-Heizkraftwerke (BHKW), Heizsysteme, Wärmepumpen, Industrietrockner und energieeffiziente Haushaltsgeräte. Von diesen Technologien können positive Beiträge zu den SDGs Nr. 7 ("Bezahlbare und sauberer Energie"), Nr. 9 ("Industrie, Innovation und Infrastruktur"), Nr. 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden"), Nr. 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion") und Nr. 13 ("Klimaschutz und -anpassung") ausgehen. Weiterhin ist Deutschland stark auf Technologien zur Stoffvereinzelnung und -trennung spezialisiert, die für den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft eine wichtige Rolle spielen. Hierdurch können Beiträge zu den SDGs Nr. 6 ("Sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen"), 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion"), 13 ("Maßnahmen zum Klimaschutz"), 14 ("Leben unter Wasser") und 15 ("Leben an Land") entstehen. Die Auswertung der TNA-Reports in Kapitel 2.2 hat gezeigt, dass diese SDGs von fast allen Entwicklungsländern als prioritär angesehen werden, auch wenn Recyclingtechnologien in den TNA-Reports selten explizit genannt werden.

In vielen TNAs wird allerdings die Bedeutung der Bereiche Wasser/Abwasser und Landwirtschaft betont. In Bezug auf einige der Abwassertechnologien wurde eine negative Spezialisierung Deutschlands festgestellt, die angesichts der Bedeutung dieses Technologiefelds für das Erreichen des SDGs Nr. 1 ("Keine Armut"), Nr. 2 ("Kein Hunger"), Nr. 3 ("Gesundheit und Wohlergehen"), Nr. 6 ("Sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen"), Nr. 12 ("Nachhaltiger Konsum und Produktion"), Nr. 14 ("Leben unter Wasser") und Nr. 15 ("Leben an Land") Anlass für höhere F&E-Investitionen geben könnte. Allerdings gibt es in diesem Technologiefeld auch einzelne Technologien, wie z. B. wassersparende Geräte, Regenwassergewinnung und Abwasserableitungen, bei denen Deutschland eine hohe positive Spezialisierung aufweist.

Der für die allermeisten Entwicklungsländer ebenfalls sehr wichtige Bereich der nachhaltigen Landwirtschaft konnte mit der vorhandenen Patentsuchstrategie nur sehr partiell abgedeckt werden; daher sind hierzu an dieser Stelle kaum Aussagen möglich. Weitere Forschungsanstrengungen und die Entwicklung neuer methodischer Ansätze wären notwendig, um die Innovationsaktivitäten im Bereich der Landwirtschaft und Lebensmittelversorgung besser erfassen zu können. Anhand der in den TNAs genannten Maßnahmen lässt sich für den Bereich der Landwirtschaft feststellen, dass hinsichtlich des Transfers von Know-how zu bestimmten landwirtschaftlichen Praktiken (z. B. Boden konservierende Landwirtschaft, ökologischer Landbau oder Wassermanagement) ein großer Bedarf besteht. Diese Herausforderung könnte durch eine (noch) stärkere Verbreitung und Anwendung vorhandener Konzepte im Rahmen der zivilgesellschaftlichen und staatlichen Entwicklungszusammenarbeit adressiert werden. Technologische Innovationen und Konzepte sind vermutlich eher für die vorgelagerten Stufen der agrarischen Wertschöpfungsketten relevant, wie z. B. die Züchtung dürreresistenter Pflanzensorten, oder für integrierte Systemlösungen, wie z. B. die Aquaponik. In den Industrieländern zeigt sich gerade ein Trend in Richtung digitaler Innovationen in der Landwirtschaft ("smart farming", "precision farming"), dessen Diffusion in die Schwellen- und Entwicklungsländer ebenfalls Chancen für eine nachhaltigere Landwirtschaft birgt.

Wie eingangs der Kurzstudie erwähnt, ist das Erreichen der SDGs eine globale Aufgabe, zu der viele Akteure aus Deutschland aufgrund ihrer technologischen Kompetenzen einen wichtigen Beitrag leisten können. Bislang sind die deutschen Technologieexporte allerdings stark auf andere OECD-Länder konzentriert, die in Bezug auf die SDGs einen ähnlich hohen Zielerreichungsgrad aufweisen wie Deutschland. Anhand einer explorativen Analyse basierend auf Expertengesprächen und Fallstudien wurde im dritten Kapitel die Frage betrachtet, ob und unter welchen Voraussetzungen die Entwicklung frugaler Innovationen für Akteure aus Deutschland eine geeignete Innovationsstrategie sein könnte.

Um dem Ziel der nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden, müssten allerdings auf konzeptueller Ebene Anpassungen vorgenommen werden, damit von frugalen Innovationen ein zuverlässiger Beitrag zum Erreichen der SDG ausgehen kann. Ökologische Kriterien, wie z. B. Recyclingfähigkeit, Energieeffizienz oder der Verzicht auf toxische Materialien, sind bislang keine festen Bestandteile des Konzepts und sollten ergänzt werden. Da Umweltinnovationen häufig einen systemischen Charakter haben und ihre Funktionsfähigkeit auf das Vorhandensein komplementärer Infrastrukturen (wie z. B. Wasser, Strom oder technische Dienstleistungen) angewiesen ist, sollte neben den in der Literatur angeführten charakteristischen Eigenschaften frugaler Innovationen - Konzentration auf Kernfunktionalitäten, Preis und Robustheit (Tiwari und Herstatt 2012) - auch der Aspekte der Autarkie berücksichtigt werden, um hierdurch die Fähigkeit von Innovationen zu würdigen, trotz des Mangels an Komplementärgütern zu funktionieren.

Welche Empfehlungen lassen sich abschließend aus der Analyse ableiten?

- ▶ Frugale Innovationen werden derzeit vor allem von Großunternehmen und sozialen Entrepreneuren vorangetrieben (Wohlfart et al. 2016). Damit das Konzept darüber hinaus auch im Mittelstand eine stärkere Verbreitung und Akzeptanz findet, könnten staatlich geförderte Forschungsprojekte oder öffentliche Beratungsagenturen den Aspekt der frugalen Innovation aufgreifen. Hierbei gilt es, Missverständnisse und Fehlinterpretationen des Begriffs zu vermeiden und Innovationsprozesse in Unternehmen mit Blick auf die Bedürfnisse und Voraussetzungen der Schwellen- und Entwicklungsländer frühzeitig anzupassen. Internationale Erfahrung und Vor-Ort Kontakte des Unternehmens können helfen, die Situation von Nutzern aus Entwicklungsländern frühzeitig im Innovationsprozess zu berücksichtigen. Bislang sind die F&E-Aktivitäten der deutschen Hersteller von Umweltinnovationen noch wenig internationalisiert (Gandenberger 2018), so dass an dieser Stelle noch Ausbaupotenzial besteht.
- ▶ Im Bereich der Bildung ergeben sich insbesondere für Universitäten und Hochschulen zahlreiche Möglichkeiten, das Konzept der frugalen Innovation in den Curricula der Ingenieurs- und der Wirtschaftswissenschaften stärker zu verankern. Zurzeit gibt es in der deutschen Hochschullandschaft nur sehr wenige Lehrstühle, überwiegend aus dem Bereich der Wirtschaftswissenschaften, die frugale Innovationen als Schwerpunkt für ihre Forschung und Lehre übernommen haben. Darüber hinaus könnte die Einrichtung interdisziplinärer Forschungszentren eine Zusammenarbeit von Studierenden aus verschiedenen Fakultäten und Disziplinen an frugalen Innovationsprojekten ermöglichen. Auf diese Weise könnten Prinzipien des "frugal design" frühzeitig in den Köpfen angehender Ingenieure, Designer, Innovationsmanager und anderer Fachleute verankert werden.
- ▶ Für die Akteure aus der Innovations-, Umwelt- und Entwicklungspolitik könnte der im ersten Teil der Untersuchung durchgeführte Abgleich des deutschen Kompetenzprofils mit den technologischen Bedarfen der Entwicklungsländer und den SDG hilfreich sein, um inhaltliche Schwerpunkte in den politischen Programmen zu setzen. Wie oben bereits ausgeführt, stellen die Technologiefelder Mobilität, Energieerzeugung und -effizienz sowie (teilweise) das Technologiefeld Recycling Bereiche dar, in denen Deutschland einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der SDGs auf globaler Ebene leisten kann.

In dieser Kurzstudie konnten die in der Einleitung aufgeworfenen Fragen nur cursorisch adressiert werden. Weitere Forschungsanstrengungen sind notwendig, um diese Befunde zu erhärten.

5 Literatur

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.

Alfaro, Laura; Chanda, Areendam; Kalemli-Ozcan, Sebnem; Sayek, Selin (2004): FDI and economic growth: the role of local financial markets. In: *Journal of International Economics* 64 (1), S. 89–112. DOI: 10.1016/S0022-1996(03)00081-3.

Autarkon (o.A.): SuMeWa|SYSTEM einfach vielfältig. Online verfügbar unter <http://www.autarcon.com/>, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

Belderbos, René; van Roy, Vincent; Duvivier, Florence (2012): International and Domestic Technology Transfer and Productivity Growth: Firm Level Evidence. In: *Industrial and Corporate Change* 22 (1), S. 1–32.

Burger, C.; Weinmann, J. (2017): The 3 Stages of a Country Embracing Renewable Energy. In: *Harvard Business Review* (17.04.2017). Online verfügbar unter <https://hbr.org/2017/04/the-3-stages-of-a-country-embracing-renewable-energy>, zuletzt geprüft am 07.05.2020.

EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2017). Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2017. Berlin.

Gandenberger, Carsten (2018): Globalisation of Corporate R&D. Evidence from German Environmental Technology Companies. Karlsruhe (Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 14/2018).

Gandenberger, Carsten (2021): Internationale Kooperationen im Bereich der Umwelttechnologie und die Rolle Deutschlands. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, xx/2021 (im Erscheinen)).

Gandenberger, Carsten; Walz, Rainer; Kroll, Henning (2020): The role of frugal innovation in the global diffusion of green technologies. In: *IJTM* 83 (1/2/3), S. 97. DOI: 10.1504/IJTM.2020.10031381.

Gehrke, Birgit; Ingwersen, Kai; Schasse, Ulrich; Ostertag, Katrin; Marscheider-Weidemann, Frank; Rothengatter, Oliver (2019): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Aktualisierte Ausgabe 2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 06/2019). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-12-05_uib_06-2019_innovationsmotor-umweltschutz-2019.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2020.

Herweijer, C.; Kailash Nath Waughray, D. (2019): How technology can fast-track the global goals. World Economic Forum. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/agenda/2019/09/technology-global-goals-sustainable-development-sdgs/>, zuletzt geprüft am 11.05.2020.

Jänicke, Martin (2014): Frugale Technik. Entwicklungsländer als Vorreiter der Nachhaltigkeit? In: *Ökologisches Wirtschaften* 29 (1), S. 30–36.

Kern, M. (2012): Trucks of the World. Die vielen Gesichter des Lkw, 17.05.2012. Online verfügbar unter <https://www.eurotransport.de/artikel/trucks-of-the-world-die-vielen-gesichter-des-lkw-527142.html>.

Kroll, H.; Gabriel, M. (2017): Frugal Innovation for Europe. Karlsruhe, zuletzt geprüft am 08.05.2020.

Latek, M.; Pichon, E. (2019): Understanding the Sustainable Development Goals. Briefing. Hg. v. European Parliamentary Research Service. Straßburg, zuletzt geprüft am 08.05.2020.

Marscheider-Weidemann, F.; Gandenberger, C. (2019): Globale Nachhaltigkeit als Innovationschance – Eine White-Spot-Analyse für Fraunhofer. Kompetenz- und Patentanalyse im Bezug zu den Sustainable Development Goals. internes Arbeitspapier. Fraunhofer ISI. Karlsruhe.

- MicroEnergy International (o.A.): SOLShare. Online verfügbar unter <http://www.microenergy-international.com/>.
- Mishra, A. K. (2012): The German Invasion of The Indian Trucking Sector. In: *Forbes India*, 2012 (10.04.2012). Online verfügbar unter <https://www.forbesindia.com/article/big-bet/the-german-invasion-of-the-indian-trucking-sector/32672/0>.
- Otter, P. (2012): Sun Meets Water. Innovative water supply for remote developing regions. In: *Forum CSR International* 2/2012 (2), S. 52–53, zuletzt geprüft am 04.05.2020.
- Popp, David (2008): International technology transfer for climate policy. Policy Brief. Hg. v. Center for Policy Research. Syracuse University (39). Online verfügbar unter http://surface.syr.edu/cpr/4/?utm_source=surface.syr.edu%2Fcpr%2F4&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages.
- Sampath, Padmashree Gehl; Roffe, Pedro (2012): Unpacking the International Technology Transfer Debate: Fifty Years and Beyond. Hg. v. ICTSD Programme on innovation, Technology and Intellectual Property. International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD). Geneva (Discussion Paper). Online verfügbar unter <http://ictsd.org/downloads/2012/11/unpacking-the-international-technology-transfer-debate-fifty-years-and-beyond.pdf>, zuletzt geprüft am 24.03.2014.
- Spaiser, Viktoria; Ranganathan, Shyam; Swain, Ranjula Bali; Sumpter, David J. T. (2017): The sustainable development oxymoron: quantifying and modelling the incompatibility of sustainable development goals. In: *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 24 (6), S. 457–470. DOI: 10.1080/13504509.2016.1235624.
- Tiwari, R.; Bergmann, S. (2019): How society perceives frugal innovation. In: Adela J. McMurray und Gerrit A. de Waal (Hg.): *Frugal Innovation*. Abingdon, Oxon, New York, NY : Routledge, 2020.: Routledge.
- 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.
- UNEP/DTU (o.J.): Map of countries' technology priorities. Online verfügbar unter <https://tech-action.unepdtu.org/countries-technologies/>, zuletzt geprüft am 11.05.2020.
- UNFCCC (o.J.): Technology Needs Assessment. Pathways for climate tech implementation. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/ttclear/tna/history.html>, zuletzt geprüft am 11.05.2020.
- Vereinte Nationen (o.J.): Technology. Hg. v. SDG Knowledge Plattform. Online verfügbar unter <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/technology>, zuletzt geprüft am 11.05.2020.
- Vereinte Nationen (2018): Ziele für nachhaltige Entwicklung. Bericht 2018. New York, zuletzt geprüft am 07.05.2020.
- Wohlfart, L.; Bünger, M.; Lang-Koetz, C.; Wagner, F. (2016): Corporate and Grassroot Frugal Innovation: A Comparison of Top-Down and Bottom-Up Strategies. In: *Technology Innovation Management Review* 6 (4), S. 5–17, zuletzt geprüft am 14.05.2020.
- Zwicky, Fritz (1969): *Discovery, Invention, Research through the morphological approach*. Toronto.

Anhang

Tabelle 4: Priorisierte SDGs in den TNA

Land	1 KEINE ARBEITLOSIGKEIT	2 KEINE ARMUT	3 GUTE GESUNDHEIT UND WELTWEISE SICHERHEIT	4 QUALITÄT DER BILDUNG	5 GLEICHHEIT DER GESCHLECHTER	6 SAUBERES WASSER UND SAUBERE TOILETTEN	7 BELEBTE ENERGIE	8 WACHSTUM UND ARBEITSGEBUNG	9 INDUSTRIE, INNOVATION UND INFRASTRUKTUR	10 GLEICHHEIT	11 LEBENSUNTERSATZUNG	12 KONSUMENTENBESCHWUSSTSEIN	13 KLIMAWANDEL UND UMWELT	14 LEBENSMEERES UNTERWASSERLEBENS	15 LEBENSLEBENS	16 FRIEDEN, RECHT UND GERECHTIGKEIT	17 PARTIZIPATION AN NACHHALTIGER ENTWICKLUNG
Afghanistan						X	X				X	X	X		X		
Antigua und Barbuda						X			X		X		X				
Argentinien							X		X			X	X				
Armenien						X	X				X	X	X		X		
Aserbaidschan						X	X				X	X	X		X		
Bangladesch						X	X				X	X	X		X		
Belize						X	X				X	X	X		X		
Benin						X	X					X	X		X		
Bhutan							X		X		X	X	X				
Burkina Faso						X	X				X	X	X		X		
Burundi						X	X					X	X		X		
Costa Rica							X		X		X	X	X		X		
Dominikanische Republik						X	X				X	X	X		X		
Ecuador						X	X				X	X		X			
El Salvador			X						X		X	X	X		X		
Elfenbeinküste						X	X				X	X	X		X		
Eritrea																	
Fiji																	
Gambia						X	X				X	X	X		X		
Georgien							X		X		X	X	X		X		
Ghana						X						X			X		
Grenada						X	X					X	X		X		
Guinea						X	X					X	X		X		
Guyana						X	X					X	X		X		
Haiti																	
Honduras						X	X				X	X	X		X		

Tabelle 4 (Forts.): **Priorisierte SDGs in den TNA**

Land	1 Keine Armut	2 Kein Hunger	3 Bessere Gesundheit für alle	4 Gute Bildung	5 Geschlechtergleichheit	6 Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	7 Bezahlbare Energie	8 Angekommenes Wirtschaftswachstum	9 Industrie, Innovation und Infrastruktur	10 Gleichheit	11 Lebendige Städte und Gemeinden	12 Nachhaltige Verbrauchsmuster	13 Klimawandel	14 Lebendige Ozeane	15 Lebendige Landsysteme	16 Friede, Gerechtigkeit und starke Institutionen	17 Partnerschaften für nachhaltige Entwicklung
Indonesien						X	X				X	X	X		X		
Jamaika						X	X					X	X		X		
Jordan						X	X				X	X	X		X		
Kambodscha						X					X		X		X		
Kazakhstan						X	X		X			X	X		X		
Kenia						X	X				X	X	X		X		
Kolumbien									X				X		X		
Kuba						X	X		X		X		X				
Laos						X						X	X		X		
Libanon						X	X				X	X	X		X		
Liberia							X					X	X		X		
Madagaskar						X	X		X			X	X		X		
Malawi						X	X					X	X		X		
Mali						X	X					X	X		X		
Marokko						X	X					X	X		X		
Mauretanien																	
Mauritius						X	X					X	X		X		
Moldawien			X			X	X					X	X		X		
Mongolei							X	X			X	X	X		X		
Mosambik							X				X	X	X		X		
Myanmar																	
Nauru						X	X				X		X				
Niger						X	X					X	X		X		
Pakistan						X	X				X	X	X		X		
Panama						X					X		X				
Peru						X					X		X				
Philippinen							X				X		X				
Ruanda							X					X	X		X		
Sambia						X	X					X	X		X		

Tabelle 4 (Forts.): Priorisierte SDGs in den TNA

Land	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
São Tomé und Príncipe						X	X				X	X	X		X		
Senegal																	
Seychellen						X	X				X		X				
Sri Lanka			X			X	X		X		X	X	X		X		
Sudan						X	X					X	X		X		
Surinam						X	X		X			X	X		X		
Swasiland						X	X				X	X	X		X		
Tanzania						X	X					X	X		X		
Thailand						X	X					X	X		X		
Togo						X	X				X	X	X		X		
Trinidad und Tobago							X		X		X		X				
Tschad						X	X					X	X		X		
Tunesien						X			X		X	X	X		X		
Uganda						X	X					X	X		X		
Ukraine						X					X	X	X		X		
Uruguay						X	X				X	X	X		X		
Vanuatu																	
Vietnam						X	X					X	X		X		
Zentralafrikanische Republik																	
Anzahl der Nennungen	1	1	4	1	1	55	57	2	15	1	39	57	65	2	56	1	1

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI, basierend auf UNEP/DTU o.J.

Abbildung 12: Umwelttechnologie-Klassifikation des Fraunhofer ISI

Ebene 1: Technikfeld	Ebene 2: Technikgruppe	Techniklinie 1	Techniklinie 2	Techniklinie 3	Techniklinie 4	Techniklinie 5	Techniklinie 6
Energieangebot	Erneuerbare Energien	PV	Solarthermie	Windkraft	Wasserkraft	Biomasse	Geothermie
	Kraftwerke und Umwandlung	Gaskraftwerk	Kohlekraftwerk	BHKW	CCS	Brennstoffzelle	Wärmepumpe
	Energiespeicher und -verteilung	Energiespeicher	Energieverteilung	smart grid	Wasserstofftechnologie		
	Gebäudetechnik	Wärmedämmung	Heizsystem	Klimatisierung	Automatisierung		
	Energiesparende Geräte	Beleuchtung	Haushaltsgeräte				
	Ind: Querschnittstechnologien	Industriefen	Trockner	Wärmetauscher	Kühlung	Dampfherzeuger	EMotoren
Ressourceneffizienz	Industrielle Prozesse	Stahlindustrie	Papierindustrie	Sonstige Prozesse			
	nachwachsende Rohstoffe	Biokunststoffe	Baumaterialien	NaWaRo			
	kritische Rohstoffe	Substitution	Effizienz	Recycling	Urban Mining		
	Produktionsprozesse + Okodesign	Langlebigkeit	Materialersparung				
	Recyclingprozesse	Stoffverfeinerung	Stofftrennung				
	Abfallsammlung	Transport	Intelligente Erfassung				
Abfall+ Emissionschutz	Abfallbehandlung + -beseitigung	Verbrennung	Kompostierung	Deponierung			
	Lärm + Luftreinhaltung	Lärm	Rauchgasreinigung	Beschichtungen zur Selbstreinigung und Zers. von Schadstoffen			
	Antriebe	Verbrennungsmotor	Hybrid	Elektromotor	Brennstoffzelle		
	Fahrzeugtechnik	Straßenfahrzeug	Straßenfahrzeug	Fugzeug	Schiffe		
	Verkehrsinfrastruktur	Straßenverkehr	Straßenverkehr	Flugverkehr	Schiffsverkehr		
	nachgeschalt. Emissionsred. für Frtzege.	Katalysatoren					
Wasser	Biotkraftstoffe	Ethanol	Biodiesel	second generation			
	Wasserversorgung	Aufbereitung	Verteilung	Entsorgung	Regenwassergewinnung		
	Abwasser	Abw.-behandlung	Abwasserabklärung	Membrantechnik	Schlammbehandl. Wasseranalytik	P.Gewinnung	
	Wassernutzungseffizienz	Geräte und Prozesse					
	Hochwasserschutz	MFR zur Vorhersage					
	Boden- + Ressourcenschutz	conservation tillage	Detektionsverfahren für erosionsgefährdete Gebiete				
Ernährung+Boden	Ernährung + Landwirtschaft	Pflanzenzüchtung	Landbautechnik	Bewässerung	precision farming	post Harvest Losses	
	Altlasten	Sicherung	Dekontamination	Vorsorge			

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI