



Potenziale für die strategische Weiterentwicklung von r^2

Arbeitspapier im Rahmen des
 r^2 -Integrations- und Transferprojektes

Björn Moller
Simon Berner
Katrin Ostertag

Fraunhofer ISI, Januar 2014



Inhalt

1	EINLEITUNG	2
2	KONZEPTION	2
2.1	BOTTOM UP ANSATZ	2
2.1.1	<i>Verbundsicht</i>	3
2.1.2	<i>Publikationsanalyse</i>	4
2.2	TOP DOWN ANSATZ.....	5
2.3	EXPERTENINTERVIEWS	8
3	ERGEBNISSE	9
3.1	RAHMEN FÜR KÜNFTIGE FORSCHUNGSFÖRDERUNG	9
3.2	INDUSTRIEBRANCHEN UND FORSCHUNGSBEREICHE MIT RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALEN	11
3.2.1	<i>Bau- und Zementbranche</i>	11
3.2.2	<i>Chemieindustrie</i>	12
3.2.3	<i>Metallerzeugung und -verarbeitung</i>	13
3.2.4	<i>Weitere Branchen und Recyclingtechnologien</i>	13
3.3	WEITERE RESSOURCENRELEVANTE FORSCHUNGSTHEMEN.....	14
3.4	GESTALTUNG KÜNFTIGER AUSSCHREIBUNGEN UND KONSORTIEN	15
3.5	WEITERFÜHRENDE MAßNAHMEN MIT RELEVANZ FÜR RESSOURCENEFFIZIENZ.....	16
4	REFLEXION DER ERGEBNISSE.....	17
	ANHANG: INTERVIEWLEITFADEN R² - ZUKÜNFTIGER FORSCHUNGSBEDARF	21
	LITERATURVERZEICHNIS.....	23

1 Einleitung

Im Rahmen der Fördermaßnahme „r² - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“ soll das Integrations- und Transferprojekt Potenziale für ihre strategische Weiterentwicklung identifizieren. Hierfür wurde ein Foresightkonzept erarbeitet, das Forschungsbedarfe sowohl aus Sicht der Verbünde, als auch aus übergeordneter Sicht aufzeigt. Zudem wurden im r²-Integrations- und Transferprojekt eine Reihe von Arbeitspaketen durchgeführt, deren Ergebnisse für die Weiterentwicklung von r² relevant sind, so zum Beispiel das Roadmapping.¹

Zunächst soll im folgenden Dokument die Konzeption des Foresightprozesses beschrieben werden, die das Vorgehen und die einzelnen Arbeitsschritte nennt, um die Ergebnisse der jeweiligen Arbeitsschritte und deren Erkenntnisgewinn darzulegen. Daraus abgeleitet entsteht ein abschließendes Resümee aus allen Ergebnissen, das dann Handlungsempfehlungen zur strategischen Weiterentwicklung des Förderschwerpunktes bietet.

2 Konzeption

Um das Feld der Ressourceneffizienztechnologien zu beobachten und die Entwicklungen zu analysieren, wurde eine Doppelstrategie entworfen, die einerseits die Entwicklungen in der Fördermaßnahme „von innen“ bzw. „bottom up“ beobachtet und andererseits Entwicklungen „von außen“ bzw. „top down“ analysiert. Abbildung 1 zeigt einen Überblick der einzelnen Elemente des Foresights, die im Folgenden noch näher erläutert werden. Aus beiden Perspektiven wurden Fragen für leitfadengestützte Experteninterviews abgeleitet. Durch die Kombination der drei Ansätze kann ein umfängliches Bild der Gesamtentwicklung im Bereich der innovativen Technologien für Ressourceneffizienz sowohl auf technologischer Ebene als auch auf übergeordneter Ebene beschrieben werden. Erst die Gesamtschau aller Ergebnisse ermöglicht, dass im Ergebnis tragfähige und zukunftsweisende Ergebnisse generiert werden.

2.1 Bottom-up Ansatz

Die geförderten Verbundvorhaben in r² bilden eine solide Basis, um ihre Entwicklungspfade, Themenfelder und Akteure zu analysieren und sind somit Ausgangspunkt des Foresightprozesses. Die betrachteten Themenfelder wurden u. a. im Arbeitspaket

¹ Die Ergebnisse des Roadmapping stehen zum Download auf der r²-Internetseite (www.r-zwei-innovation.de) zur Verfügung.

Roadmapping im Detail erarbeitet und dargestellt². Auf dieser Grundlage und der Analyse von Foresightstudien wurden in einem weiteren Schritt übergeordnet Themen analysiert, die im Zusammenhang mit den Ressourceneffizienzstrategien stehen, das Feld aber thematisch breiter betrachten. Die Analyse von Foresightstudien und die Umfeldanalyse ergaben zudem Hinweise für weitere Ressourceneffizienztechnologien, die bisher noch nicht im Fokus der Forschungsförderung in r² lagen.

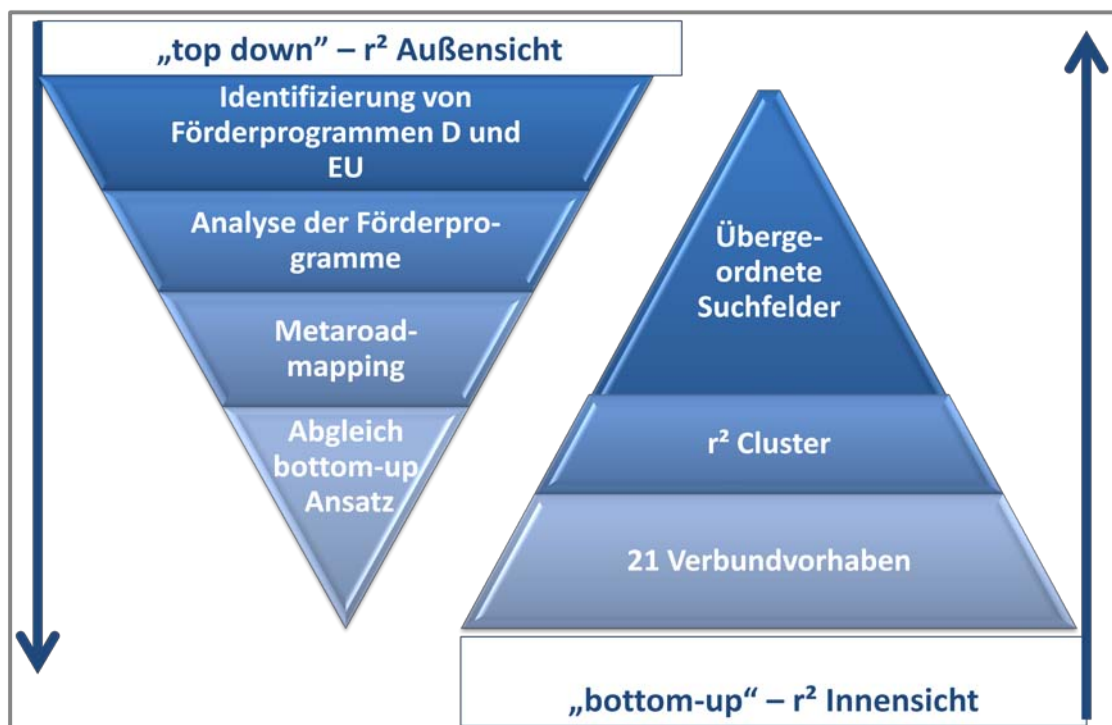


Abbildung 1: Übersicht der Foresight-Konzeption

2.1.1 Forschungsbedarfe aus Sicht der r²-Vorhaben

In einem ersten Schritt wurden die zukünftigen Förderbedarfe auf Verbundebene analysiert. Dies geschah auf Grundlage der im Rahmen der Begleitforschung erstellten Verbundroadmaps sowie durch die einzelnen Beiträge der Verbünde zur Ergebnisdokumentation der r²-Fördermaßnahme und den darin genannten offenen Forschungsfragen (s. Woidasky et al. 2013). Diese ermittelten Forschungsbedarfe auf Verbund- bzw. Clusterebene lassen sich grob in vier Ansätze unterteilen: Aufbau von Demonstratoren, Up-Scaling, Ausweitung der Forschungsarbeiten auf benachbarte Themenfelder oder Materialien sowie die Fortsetzung der in r² begonnenen Forschungsar-

² s. <http://www.r-zwei-innovation.de/de/479.php>

beiten (vgl. Abbildung 2). Außerdem hat die ökologische Bewertung der geförderten Verbundprojekte ergeben, dass in bestimmten Clustern die Ressourceneffizienzpotenziale besonders hoch sind – so zum Beispiel im Cluster „Innovative Baustoffe“. Diese Ergebnisse wurden im Rahmen der Experteninterviews vorgestellt und diskutiert (vgl. Block 1 des Interviewleitfadens im Anhang).

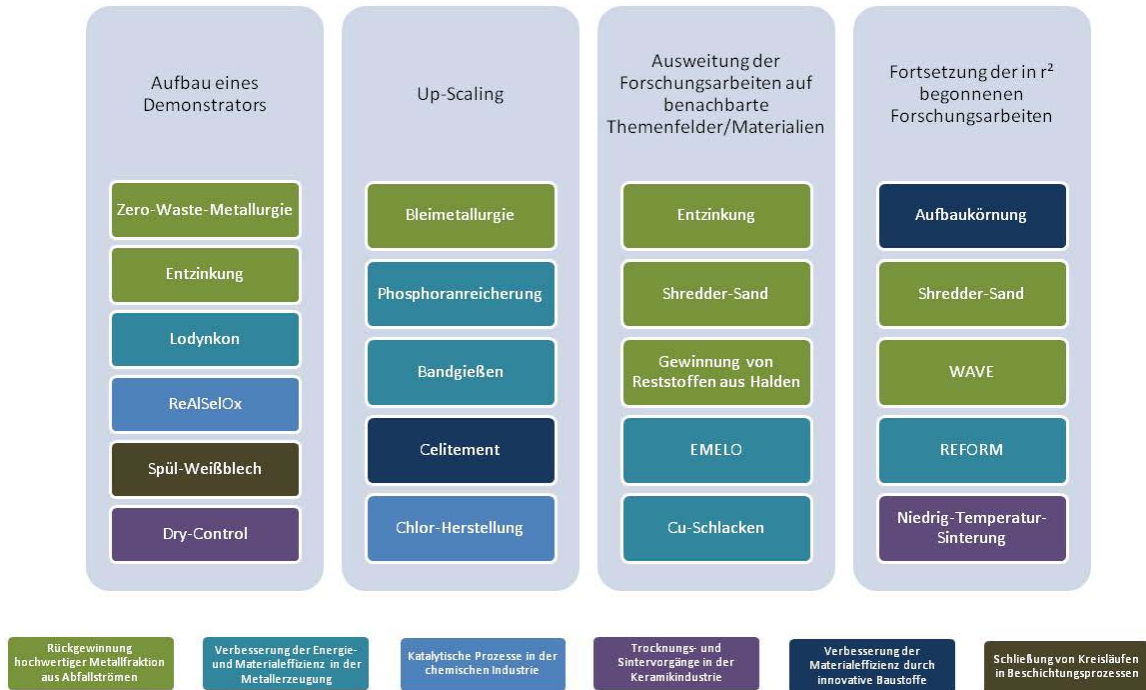


Abbildung 2: Forschungsbedarfe aus Sicht der r²-Vorhaben

2.1.2 Publikationsanalyse

Im Rahmen einer Bibliometrie wurden für die Bereiche Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit, Produktion und Konsum (bezogen auf Ressourceneffizienz) sowie Recycling Publikationsanalysen durchgeführt. Diese stellen die Entwicklung der Anzahl der Publikationen in unterschiedlichen Themenfeldern über die letzten 20 Jahre dar.

Die Ergebnisse dieser Bibliometrie zeigen, dass einige Themen über den gesamten betrachteten Zeitraum eine hohe Relevanz aufweisen (z. B. „rare earth“, „renewable resources“, „sufficiency“), andere erst im Laufe der Zeit an Bedeutung gewonnen haben (z. B. „bionic“, „green chemistry“, „life cycle analysis“). Bei speziellen Themen wie „3d printing“, „low carbon economy“, „transition management“ oder „living labs“ ist ein rasanter Anstieg an Publikationen in den letzten Jahren zu beobachten. Abbildung 3 zeigt die Entwicklungen der Publikationen und diente als Input für die Experteninterviews (vgl. Block 2 des Interviewleitfadens im Anhang).

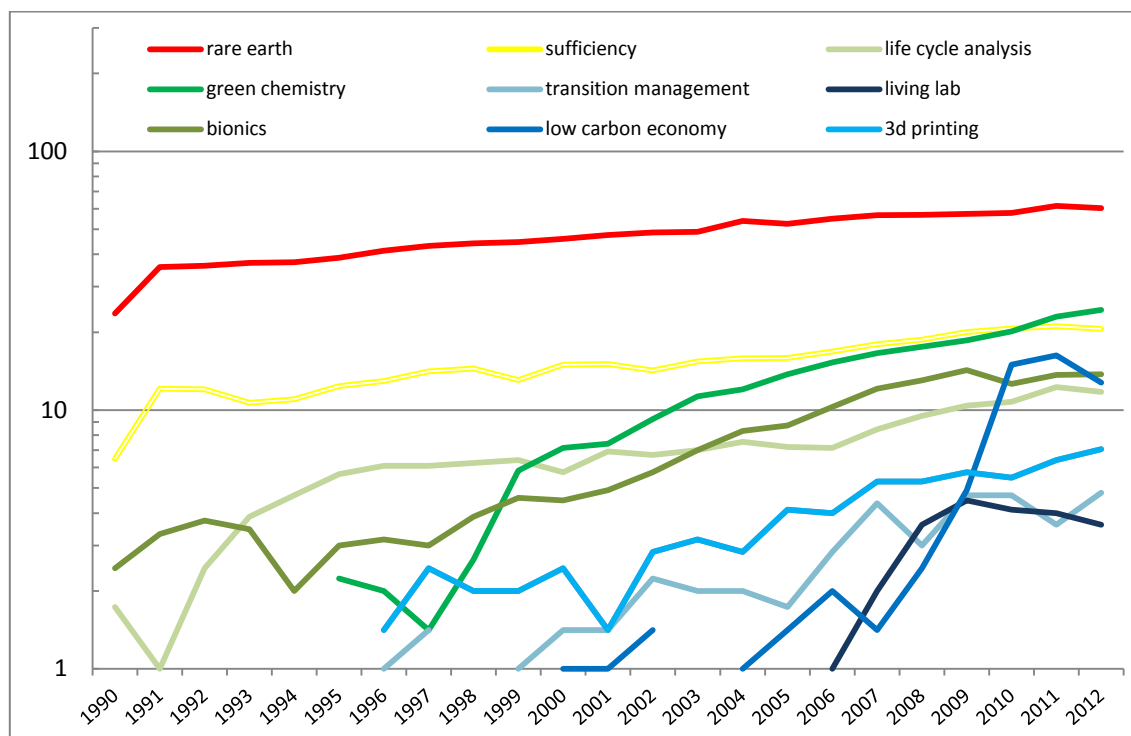


Abbildung 3: Entwicklung der Anzahl der Publikationen im Umfeld von Ressourcen(effizienz)themen

2.2 Top-down Ansatz

Parallel hierzu wurde die deutsche Forschungslandschaft analysiert und in einem groben Überblick dargestellt. (vgl. Abbildung 4). Zudem wurde ein Screening von Zukunftsstudien und wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Themen konzipiert und durchgeführt, die einen Bezug zu Materialeffizienztechnologien aufweisen. Dieses Vorgehen basiert auf der Erkenntnis, dass sich unterschiedliche Innovationsfelder mit dem Thema Ressourcen- und Materialeffizienz befassen. So setzt sich beispielsweise die Umweltforschung mit ressourceneffizienten Verfahren, die Produktionsforschung mit der „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Forschung für die Produktion von morgen“, die Dienstleistungsforschung mit hybrider Wertschöpfung und die sozialökologische Forschung mit nachhaltigen Konsummustern auseinander.

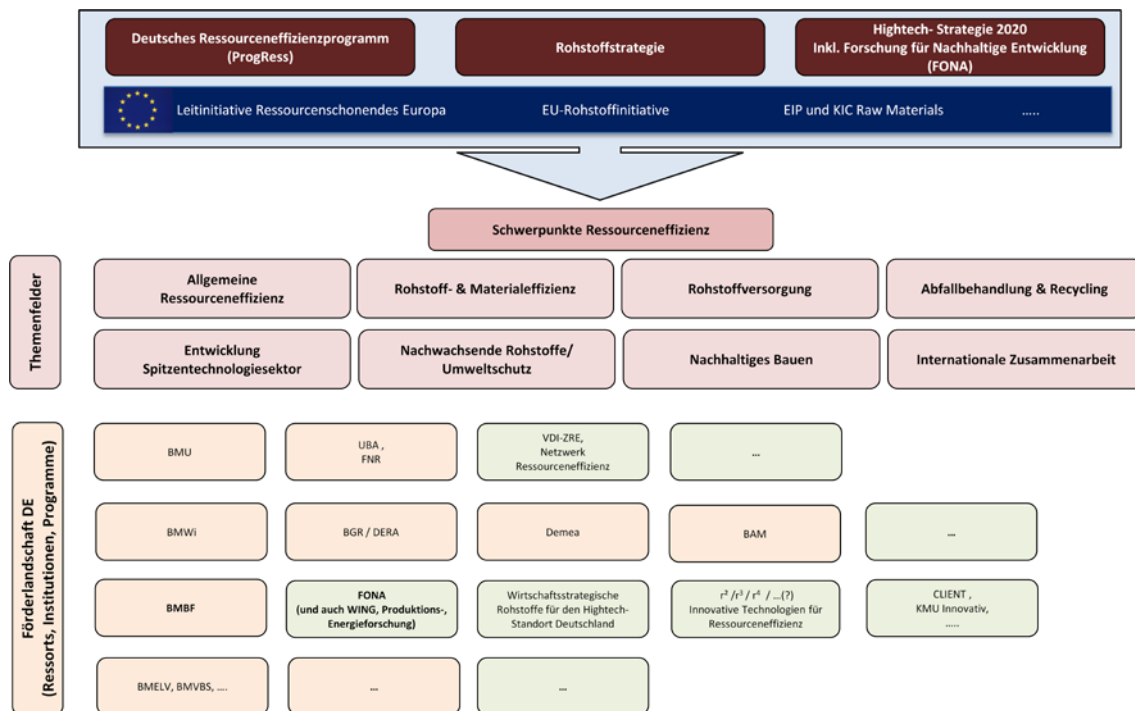


Abbildung 4: Überblick zur Forschungsförderung im Bereich Ressourceneffizienz

Die Analyse des Arbeitspakets Roadmapping ergab, dass sich die im Rahmen von r² geförderten Projekte in zwei Gruppen einteilen lassen. Die Hälfte der Verbünde hatte zum Ziel, Effizienzsteigerungen innerhalb bestimmter industrieller Prozessschritte durch Produkt- oder Prozessinnovationen zu erreichen. Die zweite Hälfte entwickelte gezielt Recycling- oder Upcycling-Technologien für bestimmte Stoffströme. Die folgende Meta-Roadmap (s. Abbildung 5 und Abbildung 6) veranschaulicht zahlreiche Anknüpfungspunkte für branchenübergreifende Recyclingpfade³. Diese Metaroadmap wurde in den Interviews kurz vorgestellt und diente als Motivation für Fragenblock 4 im Interviewleitfaden (s. Anhang).

³ Für eine ausführliche Erläuterung s. Ostertag et al. (2013).

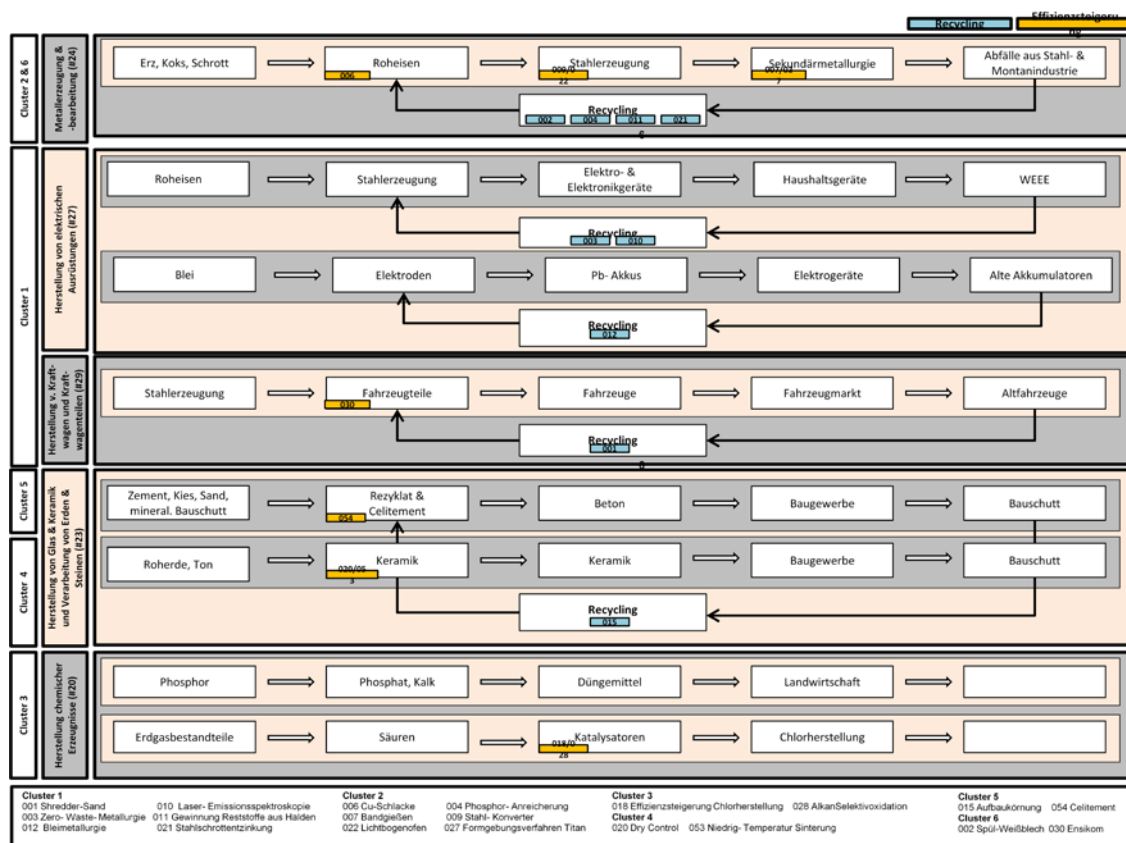


Abbildung 5: Zuordnung der r²-Verbundprojekte zu den Prozessschritten innerhalb der branchenspezifischen Wertschöpfungsketten und Einteilung in Recycling-Vorhaben und Vorhaben zur Erreichung einer Effizienzsteigerung innerhalb bestimmter Prozesse (Quelle: Fraunhofer ISI)

Die ermittelten Forschungsbedarfe auf Verbund- bzw. Clusterebene wurden im Rahmen der Interviews kurz vorgestellt und anschließend anhand eines Fragenkatalogs mit den Experten diskutiert. Beispielsweise sollten hier die Einschätzungen zu Ressourceneffizienzpotenzialen nochmals hinterfragt und weitere mögliche Forschungsfelder aufgedeckt werden. Anschließend wurden die einzelnen Forschungsthemen auf Basis bibliometrischer Analysen betrachtet. Die Ergebnisse der Bibliometrie wurden in den Interviews kurz dargestellt und im Anschluss mit den Experten diskutiert und auf Vollständigkeit geprüft.

Der zweite Teil der Interviews baute auf dem Top-Down-Vorarbeiten auf und zielte auf eine Betrachtung der bestehenden Förderlandschaft im Bereich der Ressourceneffizienz ab. Als Input diente eine Präsentation der aktuellen deutschen und teilweise europäischen Förderlandschaft. Diese wurde dann von den Experten auf Vollständigkeit überprüft und anschließend eingeschätzt. Gleichzeitig wurde bewertet, ob die bottom-up identifizierten Themenfelder ausreichend durch bestehende oder geplante Förderprogramme abgedeckt werden. Im Anschluss lag der Fokus der Interviews auf der Gestaltung der Rahmenbedingungen zukünftiger Förderung. Die für die Top-Down Analyse erstellte Metaroadmap wurde im Interview kurz vorgestellt und diente als Grundlage für die Einschätzung der Experten hinsichtlich der Gestaltung der zukünftigen Forschungslandschaft. Im Mittelpunkt standen hier unter anderem die Relevanz von nicht technischen Innovationen im Rahmen der Ressourceneffizienz und der dazu benötigte Forschungsrahmen.

3 Ergebnisse

Im Folgenden soll auf die zentralen Ergebnisse der Experteninterviews näher eingegangen werden. Dies geschieht anhand der Handlungsfelder, die innerhalb des Bottom-Up Ansatzes auf Ebene der r² Vorhaben ausgearbeitet wurden und als Leitfaden für die Experteninterviews dienten. Die Ausführungen spiegeln durchgängig die Aussagen der Experten wider. Dabei handelt es sich oft um die Einschätzung einzelner oder weniger Personen. Die Einordnung und Reflexion der Interviewergebnisse erfolgt erst in Abschnitt 4.

3.1 Rahmen für künftige Forschungsförderung

Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen die grundlegenden Rahmenbedingungen, die als Voraussetzung für eine zukünftige erfolgreiche Forschungsförderung eingestuft werden. Zentrale Aussage der Befragten ist hier, dass Forschungsthemen und –programme nicht voneinander isoliert betrachtet werden sollten, sondern vielmehr miteinander in Beziehung gebracht werden müssen. Eine Versäulung, also eine Trennung

der Forschungsgebiete, spiegelt nicht die realen Herausforderungen wider, die vielmehr nach ganzheitlichen und branchenübergreifenden Lösungsansätzen verlangen. Als Folge sollten Projekte nicht aufgrund von festgelegten Verantwortungsbereichen der involvierten Ministerien inhaltlich beschränkt sein. Denn zahlreiche Potenziale können nicht nur durch interdisziplinäre Ansätze sondern auch durch branchenübergreifende Förderung aufgedeckt und genutzt werden.

Als direkte Konsequenz dieser Herangehensweise sehen die Experten zukünftig das „Streamlinen“ der Förderlandschaft als ausschlaggebend an: Dies bedeutet, dass eine zentrale Stelle geschaffen werden könnte, so dass alle Forschungsaktivitäten zur Ressourceneffizienz überblickt und gesteuert werden können. Durch die hohe Komplexität und die vielfältigen Anwendungsgebiete der Ressourceneffizienz besteht erhöhter Bedarf zur Koordination der Aktivitäten über fördernde Institutionen, Ministerien und Programme hinweg. Eine solche Stelle würde die Vernetzung der einzelnen Forschungsgebiete sicherstellen, wodurch Synergien besser genutzt und redundante Anstrengungen verhindert werden könnten.

Ein Beispiel für bestehende ressortübergreifende Zusammenarbeit in der Förderkette ist das Ineinandergreifen von Forschungsförderung durch das BMBF und der Förderung großtechnischer Pilotvorhaben durch das Umweltinnovationsprogramm des BMU / UBA. Das Upscaling und die Entwicklung von Demonstratoren wird zwar als sinnvoll und für den Markteintritt neuer Technologien wichtig eingestuft, gegebenenfalls fallen für die erste Umsetzung auf großtechnischem Maßstab, wie beispielsweise die Förderung einer Produktionsanlage für High-Tech- Stahlbänder in der Salzgitter Flachstahl GmbH sehr hohe Kosten an. Hier könnte ein Zwischenschritt sinnvoll sein, der die eventuell vorhandene Lücke zwischen BMBF-Förderung und dem Umweltinnovationsprogramm schließen könnte.



Ein weiterer essentieller Aspekt der Gestaltung der Forschungslandschaft ist außerdem die Ausweitung der Forschung über deutsche Grenzen hinweg, mit Blick auch auf die Anwendung und Umsetzung von Forschungsergebnissen im Ausland (Deutschland als Leitanbieter, nicht nur Leitmarkt). Eine rein nationale Betrachtung und Optimierung der Ressourceneffizienz resul-

tiert oftmals nur in einer Verschiebung der ökologischen Auswirkungen ins Ausland und bringt keine nachhaltige Verbesserung mit sich.

3.2 Industriebranchen und Forschungsbereiche mit Ressourceneffizienzpotenzialen

Neben der Gestaltung der Förderlandschaft lag der Fokus der Interviews auch auf der Identifikation von Industriebranchen, in denen weitere Ressourceneffizienzpotenziale bestehen. Hier wurden die Industriezweige der Chemieindustrie, der Bau- und Zementbranche und der Metallverarbeitung, sowie die Förderung von Ressourceneffizienztechnologien im Allgemeinen identifiziert.

3.2.1 Bau- und Zementbranche

Obwohl die großen Stoffströme in der Bau- und Zementbranche gut bekannt sind, wird bei Zement sowie in weiten Teilen der Baubranche noch großes Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz gesehen. Dies resultiert aus dem großen Hebel bei Baustoffen, denn aufgrund der großen Massenströme können bereits durch geringe anteilige Verbesserungen bei der Effizienz sehr große Effekte realisiert werden

In der Wahrnehmung der Experten ist der gesamte Baustoffbereich derzeit bei der Forschungsförderung relativ wenig berücksichtigt. Dies resultiert nicht zuletzt daraus, dass die Bau- und Zementbranche historisch bereits bei der Gründung der EG weniger im Fokus stand als beispielsweise die Stahlbranche. Die bestehenden Potenziale in der Bau- und Zementbranche werden im Energiebereich (Energieverbrauch und CO₂-Emission) gesehen, aber auch bei stofflichen Effizienztechnologien.

Sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung sollten hier gleichermaßen gefördert werden. Im Fokus der Grundlagenforschung sollten Themen wie die Entwicklung neuer Prüfverfahren zur Untersuchung der Langzeitbeständigkeit oder die Erforschung neuer, effizienterer chemischer Prozesse verfolgt werden; im Bereich der angewandte Forschung z.B. der Einsatz neuer Zuschlagstoffe als Upcycling, Recycling von MVA Schlacken oder Bauschutttaufbereitung.

Daneben ist die Auftrennung von mineralischen Fraktionen und Polymeren ein Bereich, der gerade im urbanen Bauwesen (Bauen im Bestand) immer relevanter wird. Der zunehmende Einsatz von Isolationsmaterialien an Gebäuden zur Wärmedämmung wirft hier für die Zukunft Fragen der Verwertung auf. Die Motivation für Forschung in diesem Bereich war in der Vergangenheit nicht zuletzt auf Grund der langen Lebenszyklusspannen bei Gebäuden (80 Jahre und mehr) eher gering. Dennoch birgt das „Materiallager Bauwerke“ nicht nur ein strategisches Potenzial zur Gewinnung zahlreicher Rohstoffe. Forschungsbedarf wird auch bei Recycling-Bewertungssystemen gesehen, die derzeit noch nicht an die tatsächlichen Bedarfe angepasst sind. Die Frage, wie hoch das Recycling-Potenzial von Gebäuden ist, wird jedoch immer wichtiger, um auch Recyclingtechnologien objektiv bewerten zu können. Auch die Frage, wie Ressourceneffi-

zienz gemessen wird, muss im Bereich der Baubranche evtl. angepasst und besser erforscht werden. Dies liegt vor allem daran, dass oft mit Materialien gearbeitet wird, die im Überfluss vorhanden sind (z. B. SiO₂).

Laut Aussage der Experten werden gerade in der Baubranche Ausschreibungen für Forschungsförderung kaum wahrgenommen. Im Falle eines Engagements sind die Antragsfristen oft zu kurz. Ausschreibungen sollten hier interdisziplinär gestaltet werden, durch den eigenen Charakter der Baubranche jedoch auch einzelnen Technologien die Chance zur Förderung bieten. Weitere Chancen werden in der personenbezogenen Förderung sowie in der Verstetigung von Projekten gesehen, da gerade kurzlaufende Projekte oft ohne Umsetzung bleiben.

3.2.2 Chemieindustrie

Auch in der Chemiebranche wird noch ungenutztes Ressourceneffizienzpotenzial gesehen, da diese Branche stark in die Bereitstellung von Rohstoffen eingebunden ist. Daher sollte der Fokus zukünftig verstärkt auf diesen Industriezweig gelenkt werden. In der r²-Forschungsförderung ist die Chemiebranche nur in zwei Vorhaben vertreten. Als mögliche Forschungsthemen wurden unter anderem die Plattformchemikalien (d. h. Basisstoffe, die als Ausgangsstoffe für eine Vielzahl von Chemikalien dienen), der Ersatz von fossilen Energieträgern, die Herstellung synthetischer Kohlenwasserstoffe und der Power-to-Gas Ansatz identifiziert. Gerade die Förderung der stofflichen Nutzung von CO₂ als Kohlenstoffbaustein für chemische Produkte, wie derzeit im Rahmen der Förderrichtlinie „Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz – Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂“, wurde als äußerst relevant eingeschätzt. So umfasst die Ressourceneffizienz hier unter anderem die energetische und stoffliche Nutzung des anfallenden CO₂ für beispielsweise künstliches Erdöl (Synthetic Natural Gas SNG).

Für die erfolgreiche Einbindung der Chemieindustrie in die Forschungsförderung ist die Einbindung des Mittelstandes von besonderer Relevanz, da große Konzerne schon in der Vergangenheit auf diesem Feld selbst sehr aktiv waren, aber auch die Innovationsfähigkeit kleinerer Unternehmen gefragt ist. Ein möglicher Forschungsschwerpunkt liegt in der Ausschöpfung des thermodynamischen Maximums, wozu noch verstärkte Grundlagenforschung betrieben werden muss. Zusätzlich könnte die Mikrochemie an Relevanz gewinnen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Einbindung der Exergie als Kenngröße in die Betrachtungen zur Ressourceneffizienz, da diese bisher kaum berücksichtigt wird.

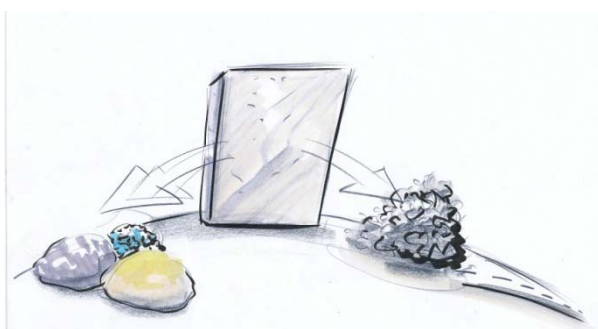
3.2.3 Metallerzeugung und -verarbeitung

Auch die Metallverarbeitung beinhaltet noch hohes Ressourceneffizienzpotenzial, da hier große Massenströme vorliegen, wie beispielsweise bei der Aluminiumherstellung. So ist der Stand der Technik bei der Kupfer- oder Aluminiumherstellung noch weit entfernt von den thermodynamisch möglichen Maxima. Als einen möglichen Ansatz nennen die Experten die Reduktion von Aluminium mit Koks anstelle von Elektrizität. Auch innerhalb der Zinnerzeugung und -verarbeitung sehen sie noch Optimierungspotenzial, so dass auch hier zukünftig verstärkt geforscht werden sollte.

Das Gleiche gilt für mögliche Zerlege- und Demontagetechnologien, die noch hohes Optimierungspotenzial hinsichtlich Ressourceneffizienz beinhalten. Als weiterer Forschungsbedarf innerhalb der Metallverarbeitung wird die erneute Konzentrierung fein verteilter Stoffe genannt.

3.2.4 Weitere Branchen und Recyclingtechnologien

Die Förderung von Technologien innerhalb der Ressourceneffizienz wird schon heute als essentiell eingestuft, da innovative Verfahren und Technologien verfügbar und erprobt sein müssen, wenn in absehbarer Zukunft die Rohstoffversorgung ernsthaft gefährdet ist. Grundsätzlich existiert vor



allem Forschungsbedarf bei Recyclingtechnologien. So sollten bspw. innerhalb des Design-to-recycling nicht nur die Produkte selbst, sondern auch die Produktionsanlagen mit berücksichtigt werden. Im Mittelpunkt sollte außerdem die Kopplung von stofflicher und energetischer Nutzung der Ressourcen stehen. Hier wird allerdings auch betont, dass eine notwendige Konzentrierung auf das Thema der Materialeffizienz in der Vergangenheit oftmals gegenüber der Beforschung von Energieaspekten zurückgestellt wurde und daher in Zukunft stärker hervorgehoben werden sollte. Gerade die Kombination von Materialeffizienz und energetischen Einsparungen birgt nach Ansicht der Experten große Potenziale, sodass oben genannte Themen wie stoffliche und energetische Nutzung von CO₂ immer relevanter werden. Im Hinblick auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stellen die Technologien zur Ressourceneffizienz ein vielversprechendes Gebiet dar, da viele Ansätze im direkten Vergleich zu anderen Ländern schon heute sehr fortschrittlich sind, wie man nicht zuletzt an Hand der Publikationstätigkeiten sehen kann. Eine verstärkte Forschungsförderung auf dem Gebiet der Ressourceneffizienz könnte Deutschland den Einschätzungen der Experten

zufolge somit zum Leitanbieter dieser Technologien machen und weltweit neue Märkte öffnen.

3.3 Weitere ressourcenrelevante Forschungsthemen

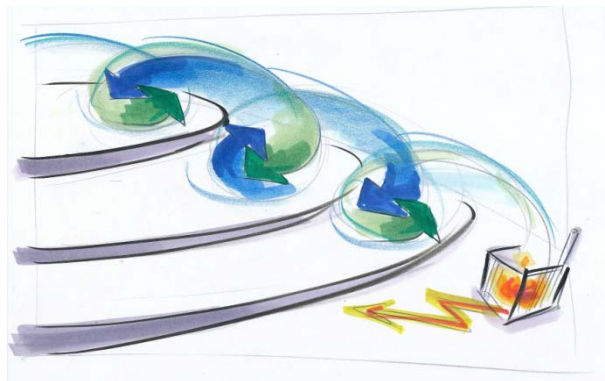
Die Anstrengungen der Forschung zur Ressourceneffizienz waren in der Vergangenheit fast ausschließlich im Rahmen des verarbeitenden Gewerbes zu finden. Neben diesem klassischen Forschungsgebiet ist zukünftig aber auch die Integration anderer Perspektiven wie beispielsweise der Verhaltensforschung und soziologischen Forschung oder der Psychologie



von großer Relevanz zur Erhöhung der Ressourceneffizienz. Zentraler Aspekt ist hier vor allem die Akzeptanzforschung, die sich mit dem Zusammenspiel von Technologie und Konsumentenverhalten befasst. Beispielhaft werden hier Forschungsgebiete wie die Erforschung von Rebound-Effekten in Living Labs und die Dematerialisierung, also die Erreichung der gleichen Wertschöpfung durch weniger Materialeinsatz, identifiziert. Auch die Entwicklung von Methoden zur Messung von Ressourceneffizienz sollte behandelt werden. Weiterer Forschungsbedarf existiert hinsichtlich der Wertschöpfung ohne Ressourcenverbrauch im Allgemeinen und der Entkopplung des Ressourcenverbrauchs von der Wachstumsentwicklung.

Auch Dienstleistungsinnovationen können erheblichen Einfluss auf die Ressourceneffizienz nehmen, so dass auch nicht-technische Innovationen zukünftig verstärkt betrachtet werden sollten. Als Beispiel wird hier das „Chemical Leasing“ aufgeführt. Die befragten Experten erwarten, dass Dienstleistungsinnovationen vom finanziellen Förderbedarf deutlich geringer einzustufen sind als die Entwicklung technologischer Innovationen, was zusätzlich für eine vermehrte Forschungsförderung auf diesem Gebiet spricht. Hinzu kommt, dass die Dienstleistungsinnovationen zum Teil sogar das Einsparpotenzial technologischer Innovationen deutlich übertreffen. So wird vor allem der Forschung hinsichtlich der Kombination von dienstleistungsbasierten und technischen Innovation auf dem Gebiet der Ressourceneffizienz zukünftig eine hohe Relevanz beigemessen. Großes Potenzial wird hier unter anderem innerhalb der Logistik, also hinsichtlich „intelligenter Stoffströme“ (smart logistics) gesehen. Außerdem sollte ein Forschungsschwerpunkt auf dem Umgang mit Stoffstromdaten (z. B. in der Cloud) liegen.

Forschungsbedarf existiert außerdem bei der Identifikation der stofflichen Kreisläufe. Erst wenn diese ganzheitlich abgebildet werden können, kann eine effiziente Kreislaufschließung umgesetzt werden. Hier müssen auch branchenübergreifende Vernetzungen analysiert werden, um Innovationsmuster aufzudecken. Durch die Identifizierung ketten-übergreifender Kontaktpunkte können intelligente Ketten geschaffen werden, die zusätzlich zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen. So können Verbindungen zu Branchen realisiert werden, in denen ohne großen Aufwand eine wirtschaftliche Verwendung des vorliegenden Materials möglich ist. Eine geeignete Kreislaufführung in oder zwischen Wertschöpfungsketten kann außerdem verstärktes Upcycling statt Downcycling zur Folge haben. Gerade auf dem Gebiet der Kreislaufschließung liegen zwar schon zahlreiche Forschungsergebnisse vor (z. B. in der Metallbranche), viele davon haben jedoch den Markt – meist aus Kostengründen – nicht erreicht. Auch die Möglichkeit einer getrennten Führung von Stoffströmen bedarf Forschungsanstrengungen.



Eine Modellierung der Preisentwicklung der Primär- und Sekundärrohstoffe über die nächsten 20 Jahre könnte als hilfreiche Grundlage für die zukünftigen Forschungsanstrengungen dienen. Damit verbinden die Experten die Hoffnung, dass die ökonomische Betrachtung innerhalb der Forschung als Voraussetzung für eine spätere Umsetzbarkeit präsenter wird.

3.4 Gestaltung künftiger Ausschreibungen und Konsortien

Ein weiterer Schwerpunkt der Interviews lag auf der Gestaltung künftiger Ausschreibungen und Konsortien. Folgende Aspekte werden als relevante Bestandteile zukünftiger Forschungsprojekte gesehen. Zum einen sollte die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als zwingende Anforderung aufgenommen und auch Partner mit ökonomischer Expertise früh eingebunden werden. Zwei Experten fordern, dass innerhalb dieser ersten Phase (Phase 0) die Wirtschaftlichkeit, d. h. eine tatsächlich vorhandener, zukünftiger Markt sogar als K.O. Kriterium eingestuft werden sollte. Gleichzeitig ist es wichtig, auch die Marktsicht und das Marktgeschehen frühzeitig zu berücksichtigen. Weiterhin sollte der Blick über Branchengrenzen hinweg gefordert und gefördert werden. So können durch den Einbezug von Partnern aus unterschiedlichen Branchen Kreislaufschließungen und Kaskadennutzbarkeit identifiziert werden. Insbesondere sollten mehr tatsächli-

che Treffen der Projektpartner stattfinden, um Koppelstellen bei Stoffströmen gezielter zu adressieren.

Im Übrigen sollten Förderprogramme verstetigt werden, da die bisher übliche Laufzeit von zwei bis drei Jahren als teilweise zu kurz eingestuft wird. Zusätzlich sollte in der Antragsphase auf unnötige Bürokratie verzichtet werden, so dass beispielsweise ein Bewerben schon mit wenig formalen Projektskizzen möglich wird. Diese Vereinfachung soll dazu führen, dass unkonventionelle Akteure oder KMUs leichter an Ausschreibungen teilnehmen und nicht mehr von der Komplexität der Anforderungen abgeschreckt werden.

Generell wird der Rahmen der aktuellen Förderung als zu eng angesehen. Eine strikte Trennung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung bei der Förderung ist in den wenigsten Fällen sinnvoll, so dass in ganzheitliche Ansätze investiert werden sollte. Die internationale Zusammenarbeit mit Hightech-affinen Ländern wie beispielsweise Japan sollte gefördert werden.

3.5 Weiterführende Maßnahmen mit Relevanz für Ressourceneffizienz

Neben den konkreten zukünftigen Forschungsfeldern sollten auch weiterführende Maßnahmen berücksichtigt werden, die relevant für die zukünftige Steigerung der Ressourceneffizienz sein werden. Zum einen ist hier die Einbindung der Thematik in Bildung und Lehre ausschlaggebend. Schon innerhalb der Lehre sollte das spätere Recycling mit einbezogen werden, wie es bei den Design-2-Recycling Ansätzen der Fall ist. Bringt man solche Gesamtzusammenhänge in die



Lehre ein, so wird der Blick für die eigene Disziplin geschärft und die hier bisher noch ungenutzten Ressourceneffizienzpotenziale können realisiert werden. Zum anderen ist die Bildung eines verstärkten öffentlichen Bewusstseins für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von hoher Relevanz. Hierzu muss der Nutzen der eingeführten Maßnahmen für den Endverbraucher immer klar erkennbar sein. Ist dies nicht der Fall, sollte auch nicht gezögert werden, ineffiziente Maßnahmen wie beispielsweise unsinniges Stofftrennen wieder aufzuheben.

4 Reflexion der Ergebnisse

Insgesamt zeigen die Foresight-Arbeiten, dass weiterhin Forschungsbedarf zum Thema Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen besteht. Viele bedeutende Potenziale sind mit den bisher in r² geförderten Vorhaben noch nicht adressiert. Beispielhafte Ansatzpunkte wurden oben aufgeführt; noch konkretere Projektideen ergeben sich aus den Arbeiten der TU München im Rahmen der Begleitforschung bzgl. branchenübergreifender Vernetzungspotenziale (s. Endbericht der TU München, im Erscheinen). Prinzipiell erscheinen alle in r² geförderten Cluster – Metallherzeugung und –recycling, Chemische Industrie, Keramikindustrie, Innovative Baustoffe und Kreislaufführung bei Beschichtungsprozessen – als vielversprechende Kandidaten für eine weitere Förderung.

Mit Blick auf die besonders hohen Potenziale des r²-Clusters „Innovative Baustoffe“ einerseits (s. Ostertag et al. 2013) und die gegenwärtige starke Fokussierung auf metallbezogene Themen im Zuge der Diskussion um Versorgungsfragen bei wirtschaftsstrategischen Rohstoffen andererseits (s. Ausschreibungen r3 und r4) sei jedoch der Forschungsbedarf in der Bau- und Zementbranche an dieser Stelle gesondert hervorgehoben. Die Reduktion der prozessbedingten CO₂-Emissionen in der Zementherstellung ist beispielsweise ein wichtiges aktuelles Forschungsfeld in der Industrie. Es droht bei Energieeffizienz-fokussierten Programmen außen vor zu bleiben. In Werkstoffzentrierten Programmen - wie aktuell der Fördermaßnahme HighTechMatBau⁴ im WING-Programm des BMBF - stehen eher multifunktionale anspruchsvolle Produkteigenschaften im Mittelpunkt, so dass auch hier die Forschungsthemen der Baustoffindustrie u. a. zu Verfahrensinnovationen nicht hinlänglich abgedeckt scheinen. Die Ressourceneffizienzpotenziale von Gebäuden – Stichwort: Urban Mining – werden zwar in r3 bereits adressiert. Mit Blick auf die zunehmende Komplexität und Materialvielfalt von Gebäuden sind aber Fragen des Recycling weiter relevant, so dass ein Fortführung zu prüfen wäre. Zwar stehen die Fragen des Recyclings auf Grund der langen Nutzungsdauer von Gebäuden erst in relativ ferner Zukunft an, heutige Arbeiten zu dem Thema können aber die weiteren Entwicklungen im Gebäudebereich im Sinne eines „Design-2-Recycling“ zu Gunsten der Ressourceneffizienz lenken.

Die Ergebnisse weisen auf einige weitere inhaltliche Facetten hin, die in der Fortschreibung von r² bedacht werden sollten. Dies sind erstens Kenngrößen für Ressourceneffizienz, wobei die befragten Experten insbesondere die Berücksichtigung branchenspezifischer Belange anmahnen. In r3 läuft dazu bereits ein Vorhaben, und mit der

4 s. <http://www.bmbf.de/foerderungen/21069.php> (abgerufen 20.12.2013).

Vorlage der neuen VDI-Richtlinie zur Messung von Ressourceneffizienz wird in naher Zukunft ein wichtiger Meilenstein erwartet. Vor diesem Hintergrund wird dann neu zu prüfen sein, ob der Vorschlag weiter Relevanz hat. Bzgl. branchenorientierter Kennzahlen muss die Politik jedenfalls auch die Vergleichbarkeit der Messzahlen zwischen verschiedenen Branchen im Auge behalten, wenn sie diese zum Beispiel zur Definition von Schwerpunkten für Ressourceneffizienzpolitiken heranzieht.

Zweitens wird das Thema Dienstleistungen zur Steigerung von Ressourceneffizienz betont. Zu Dienstleistungen hat das BMBF in der Vergangenheit bereits eigene Förderprogramme aufgelegt (s. z. B. BMBF 2009a; BMBF 2009b). Diese verweisen explizit auf Verbindungen zu mehreren anderen Fördermaßnahmen des BMBF, zum Beispiel zur Forschung für die Produktion von morgen. Auch wird darauf verwiesen, dass die „...Förderung innovativer Dienstleistungen im Bereich ressourcenschonender Wirtschaftskreisläufe ... ein Feld für Maßnahmen im Rahmen des Aktionsplans DL 2020“ bietet (BMBF 2009b, S. 34). Das Potenzial, hier durch die Zusammenführung verschiedener Forschungs-Communities eine Vielzahl neuer Anstöße für die Forschung zu generieren, wird in der Forschungsförderung zu Ressourceneffizienz, z. B. in der Fördermaßnahme r4 noch eher zurückhaltend adressiert. Die Arbeiten der r²-Begleitforschung zeigen, dass das Thema Dienstleistungen im Kontext der Rohstoffwirtschaft bisher nur schwach verankert ist (Bollhöfer et al. 2013), so dass die Zusammenführung der Forschungsstränge nicht von selbst zu erwarten ist, sondern vermutlich ein gewisses Maß an Unterstützung und Vermittlung benötigt.

Drittens wird Forschungsbedarf in der Frage gesehen, ob und wie Deutschland seine Rolle als Leitmarkt für Ressourceneffizienztechnologien entwickeln kann. Die Frage stellt sich verschärft mit Blick auf Tendenzen zur stärkeren internationalen Arbeitsteilung innerhalb von Wertschöpfungsketten sowie bei Forschungsansätzen, die Ressourceneffizienzsteigerungspotenziale im Ausland adressieren und gleichzeitig einen vergleichsweise schwachem Heimatmarkt erwarten lassen. Angesichts der großen Heterogenität der Innovationen für Ressourceneffizienz sind hier keine einheitlichen Antworten zu erwarten. Vielmehr muss die Betrachtung disaggregiert für einzelne Technologien und Prozessketten erfolgen. Neben unterschiedlicher Ausprägung der Leitmarkt-Faktoren ist auch zu erwarten, dass die internationale Arbeitsteilung variiert und folglich die Rolle strategischer Kooperationen mit ausländischen Partnern für die Etablierung Deutschlands als Leitmarkt und Leitanbieter in einem bestimmten Feld technologiespezifisch geprägt ist. Eine solche disaggregierte Betrachtungsweise wurde vom Fraunhofer ISI auch zur Evaluation der Hightech-Strategie eingesetzt.

Neben Hinweisen zu Inhalten für eine strategische Weiterentwicklung von r² ergeben sich aus den Untersuchungen auch Anhaltspunkte bezüglich der formalen Ausgestal-

tung der Forschungsförderung. Die Bürokratie bei der Antragsstellung wird immer noch kritisiert, obwohl im Rahmen von KMU erhebliche Erleichterungen eingeführt wurden und die Einreichung von Skizzen bei zweistufigen Auswahlverfahren sehr wenig formal ist. Wenn man diesem Hinweis nachgehen will, müssten angesichts dieser schon bestehenden Vereinfachungen die Kritikpunkte detaillierter untersucht werden. Vielleicht ergeben sich dann konkretere Hinweise, wie das Verfahren oder auch die Kommunikation der Fördermöglichkeiten verändert werden kann.

Prinzipiell wurde die Interdisziplinarität der Ausschreibungen begrüßt, ebenso wie die Notwendigkeit, branchenübergreifende Ansätze zu fördern, wobei insbesondere Schnittstellen zwischen Prozess- und Wertschöpfungsketten hervorgehoben werden. Kontrovers sind die Einschätzungen bezüglich der Frage, in welcher Phase des Innovationsprozesses bzw. in welchem Reifegrad einer Technologie die Forschungsförderung einsetzen sollte. Hier wird einerseits darauf verwiesen, dass die Trennung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zuweilen schwierig ist, und somit auch Elemente der Grundlagenforschung in der Projektförderung nicht gänzlich ausgeschlossen werden sollten. Dies wird insbesondere im Kontext der Bau- und Zementindustrie sowie der Chemieindustrie hervorgehoben. Andererseits betonen die befragten Experten die Wichtigkeit einer frühzeitigen ökonomischen Betrachtung der entwickelten Lösungen. Die Forderung der Wirtschaftlichkeit als K.O.-Kriterium für die Förderung ist sicherlich zu hart, denn damit würden Mitnahmeeffekte ausufern. Aber die Befassung mit diesen Fragen als Pflicht kann die Umsetzbarkeit der Ergebnisse stärken.

Als zusätzliche neue Förderformate kam der Vorschlag einer personenbezogenen Förderung. Dies könnte als Bindeglied zwischen Forschungs- und Bildungspolitik ausgestaltet werden. In eine ähnliche Richtung geht der allgemeinere Hinweis, die Forschungsförderung stärker mit der Hochschulbildung und anderen Bildungsaktivitäten zu vernetzen. Unter anderem wird davon ein vermehrter Einfluss der Forschungsergebnisse auf das Alltagshandeln erwartet. Für einen besseren Praxistransfer wird auch ein gewisser Bedarf gesehen, in der Förderkette zwischen den Programmen des BMBF und der Möglichkeit der Förderung großtechnischer Pilotvorhaben durch das Umweltinnovationsprogramm des BMU eine weitere Fördermöglichkeit als Zwischenschritt vorzusehen. Diese soll das graduelle Upscaling einer neu entwickelten Lösung ermöglichen.

Schließlich sprechen die Experten die Gefahr der Versäulung der Förderschienen einzelner Ressorts an. Diese wird immer noch gesehen, obwohl in der Vergangenheit und aktuell immer wieder übergreifende Strategien formuliert und Aktivitäten ergriffen wurden, die die Maßnahmen der verschiedenen Ressorts zusammenführen. Dazu zählt

beispielsweise die Rohstoffstrategie der Bundesregierung (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010) oder der Masterplan Umwelttechnologien (BMU, BMBF 2008) und die Arbeiten des Interministeriellen Ausschusses (IMA) Rohstoffe. Zu prüfen wäre, wo hier konkret Defizite gesehen werden, zum Beispiel ob die Abstimmungen möglicherweise frühzeitiger oder kontinuierlicher erfolgen sollten und ob auch einzelne Forschungsrahmenprogramme innerhalb eines Ressorts dem Risiko der Versäulung unterliegen. Das oben genannte Beispiel der Forschungslücke für Verfahrensinnovationen bei Baustoffen könnte seine Ursache darin haben.

Über die Gestaltung der Forschungsförderung hinaus sehen die Experten Bedarf zur Koordination der Ressourceneffizienzaktivitäten über verschiedene fördernde Institutionen, Ministerien und Programme hinweg. Angesichts der Breite des Themas und der Vielzahl von betroffenen Aktivitäten ist dies ein anspruchsvolles Unterfangen mit vielen Fragen, wie zum Beispiel, bei wem diese Koordination angesiedelt sein sollte oder welche Maßnahmen und Einflussmöglichkeiten ihr zukommen. Im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) (BMU [Bundesministerium für Umwelt 2012]) wurden die Ressourceneffizienzaktivitäten der Bundesregierung gesamthaft dargestellt. Damit dies auch bei der Fortschreibung von ProgRess gelingt, wären Möglichkeiten der Verzahnung der Weiterentwicklung von ProgRess einerseits und der Forschungsförderung für Ressourceneffizienz andererseits zu prüfen.

Anhang: Interviewleitfaden r² - zukünftiger Forschungsbedarf

Im Rahmen des folgenden Interviews sollen zukünftige Bedarfe an Forschungsförderung diskutiert werden. Hierzu sollen sowohl eine Betrachtung auf Ebene der r²-Vorhaben und einzelner Forschungsthemen erfolgen („Bottom-Up“, s. Blöcke 1 und 2) als auch eine Betrachtung der bestehenden Förderlandschaft im Bereich Ressourceneffizienz („Top-Down“, s. Blöcke 3 und 4) herangezogen werden.

Block 1: Perspektive der r²-Vorhaben

Frage 1: In den 6 vorgestellten Clustern wurden Förderbedarfe auf Verbundebene identifiziert. Wo liegen aus Ihrer Sicht innerhalb der Cluster die größten Potenziale, die durch künftige Forschungsförderung gehoben werden könnten?

Frage 2: Stimmen Sie mit den abgegebenen Einschätzungen überein?

Frage 3: Sehen Sie innerhalb der Cluster noch weitere förderwürdige Themenfelder, die durch die in r² geförderten Verbünde nicht abgedeckt sind?

Frage 4: Sehen Sie neben den r²-Clustern noch weitere rohstoffintensive Produktionsprozesse, bei denen durch Forschungsförderung Innovationssprünge in Richtung Ressourceneffizienz möglich sein könnten?

Block 2: Perspektiven auf Basis bibliometrischer Analysen

Frage 5: Sehen Sie neben den bekannten, großen Themen (z. B. seltene Erden, Recycling, erneuerbare Ressourcen) innerhalb der neu aufkommenden Entwicklungen Forschungsthemen, die gefördert werden sollten oder noch nicht ausreichend gefördert werden? Zum Beispiel, um Deutschland künftig in diesem Bereich zukunftsfähig zu machen oder eine Vorreiterrolle zu erreichen?

Frage 6: Sofern es neue bzw. weitere Themenfelder gibt: Kann man diese oder spezielle bestehende Forschungsthemen mit den klassischen Wissenschaftszweigen abdecken oder bedarf es zukünftig anderer Lösungen (Living labs, Kombinationen von Wissenschaftszweigen)?

Block 3: Förderlandschaft im Bereich Ressourceneffizienz

Als Input dient eine kurze Präsentation der aktuellen deutschen und europäischen Förderlandschaft im Bereich Ressourceneffizienz. Diese soll von Ihnen als Experte zunächst auf Vollständigkeit überprüft und anschließend eingeschätzt werden.

Frage 7: Sind Ihnen weitere Förderprogramme zum Thema Ressourceneffizienz bekannt, die hier noch nicht aufgeführt sind, die aber bei der Einschätzung zukünftiger Fördermaßnahmen mitgedacht werden müssen.

Frage 8: Wo sehen Sie weitere Lücken in der Förderlandschaft, durch die evtl. große Potenziale im Bereich Ressourceneffizienz sowohl auf Technologieebene als auch bei deren Umsetzung und Diffusion realisiert werden könnten?

Frage 9: Adressieren die bisherigen Förderprogramme hinreichend die in Block 1 und 2 identifizierten Forschungsbedarfe?

Block 4: Art der zukünftigen Förderung (branchen- und referatsübergreifend)

Frage 10: In der Fördermaßnahme r² wurden Ressourceneffizienztechnologien sowohl innerhalb von Prozess-/ Wertschöpfungsketten als auch für übergreifende Stoffströme entwickelt. Wie muss eine Forschungsförderung aussehen, damit stärker Fragen an den Schnittstellen zwischen Prozessketten (d.h. stoffstromübergreifend) aufgegriffen werden? Wie könnte in diese Richtung gewirkt werden?

Frage 11: Wie sehen Sie das Verhältnis von Ressourceneinspar-Potenzialen technischer Innovationen (z.B. Recyclingtechnologien, Effizienz steigernden Technologien) zu den Potenzialen nicht-technischer Innovationen und Konzepte (z. B. Konsummuster, Verbraucherverhalten, sozioökonomische Rahmenbedingungen und Auswirkungen)? Spiegelt sich dieses Verhältnis angemessen in der Forschungsförderung wider?

Literaturverzeichnis

- BMBF (Hrsg.) (2009a): Innovationen mit Dienstleistungen - BMBF-Förderprogramm. Bonn, Berlin: BMBF.
- BMBF (Hrsg.) (2009b): Zukunft gestalten mit Dienstleistungen - aktionsplan DL 2020. Bonn, Berlin: BMBF.
- BMU; BMBF (Hrsg.) (2008): Masterplan Umwelttechnologien. Berlin: BMU, BMBF.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, N.u.R. (Hrsg.) (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin: BMU.
- Bollhöfer, E.; Mattes, K.; Miller, M. (2013): Ressourceneinsparpotenziale durch den Einsatz von Dienstleistungsmodellen in rohstoffnahen Produktionssystemen - Studie im Rahmen des r^2 -Integrations- und Transferprojektes, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Rohstoffstrategie der Bundesregierung - Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen, Berlin: BMWi.
- Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Niederste-Hollenberg, J.; Paitz, P.; Sartorius, C.; Walz, R.; Moller, B.; Seitz, R.; Woidasky, J.; Stier, C.; Albrecht, S.; Brandstetter, P.; Fröhling, M.; Trippe, F.; Müller, J.; Mayer, W.A.; Faulstich, M. (2013): Ergebnisse der r^2 -Begleitforschung - Potenziale von Innovationen in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. In: Woidasky, J.; Ostertag, K.; Stier, C. (Hrsg.): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen - Ergebnisse der Fördermaßnahme r^2 . Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 356-394.
- Woidasky, J.; Ostertag, K.; Stier, C. (Hrsg.) (2013): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen - Ergebnisse der Fördermaßnahme r^2 . Stuttgart: Fraunhofer Verlag.