

PolRess AP3 – Ökonomische Wirkungen

## Simulationsergebnisse

Entwicklung der Rohstoffnutzung in Deutschland unter verschiedenen Rahmenbedingungen sowie Betrachtung der ökonomischen und ökologischen Effekte ausgewählter Handlungsansätze

PolRess Arbeitspapier 3.4

**Mark Meyer**

Mit Beiträgen von Bernd Meyer und Helena Walter

**Gesellschaft für Wirtschaftliche  
Strukturforschung (GWS) mbH**

**GLIS** SPECIALISTS IN  
EMPIRICAL ECONOMIC  
RESEARCH

## PolRess – Ressourcenpolitik

Ein Projekt im Auftrag des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes

Laufzeit 01/2012 – 05/2015

FKZ: 3711 93 103



**Umwelt  
Bundesamt**

### Fachbegleitung UBA

Judit Kanthak

Umweltbundesamt

E-Mail: [judit.kanthak@uba.de](mailto:judit.kanthak@uba.de)

Tel.: 0340 – 2103 – 2072

### Ansprechpartner Projektteam

Dr. Klaus Jacob

Freie Universität Berlin

E-Mail: [klaus.jacob@fu-berlin.de](mailto:klaus.jacob@fu-berlin.de)

Tel.: 030 – 838 54492

### Projektpartner:



*Die veröffentlichten Papiere sind Zwischen- bzw. Arbeitsergebnisse der Forschungsnehmer. Sie spiegeln nicht notwendig Positionen der Auftraggeber oder der Ressorts der Bundesregierung wider. Sie stellen Beiträge zur Weiterentwicklung der Debatte dar.*

Zitationsweise: Meyer, M. (2015): Simulationsergebnisse: Entwicklung der Rohstoffnutzung in Deutschland unter verschiedenen Rahmenbedingungen sowie Betrachtung der ökonomischen und ökologischen Effekte ausgewählter Handlungsansätze. Arbeitspapier 3.4 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess). [www.ressourcenpolitik.de](http://www.ressourcenpolitik.de)

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
1. Einleitung: Zur Methodik .....	1
2. Vorstellung der Umfeldszenarien.....	3
2.1. Globale Umfeldentwicklungen .....	3
2.1.1. Ökonomische Entwicklungen .....	3
2.1.2. CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	6
2.1.3. Abiotische Rohstoffinanspruchnahme .....	7
2.2. Zentrale Befunde für Deutschland.....	14
2.2.1. Ökonomische Entwicklungen .....	14
2.2.2. CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	16
2.2.3. Abiotische Rohstoffinanspruchnahme .....	18
3. Ökonomische und ökologischen Effekte ausgewählter Handlungsansätze .....	21
3.1. Simulationsgrundlagen.....	21
3.2. Ökonomische Effekte .....	23
3.2.1. Überblick der makroökonomischen Auswirkungen.....	23
3.2.2. Ergänzende sektorale Detailauswertungen .....	27
3.2.3. Individuelle Beiträge einzelner Ansatzpunkte.....	29
3.3. Ökologische Effekte.....	33
4. Zusammenfassung.....	37
5. Quellenverzeichnis .....	41

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globales reales BIP, SSP1 & SSP3 .....	4
Abbildung 2: Globale CO <sub>2</sub> -Emissionen, SSP1 & SSP3 .....	7
Abbildung 3: Historische Entwicklung der globalen Rohstoffinanspruchnahme nach Materialkategorien ab 1980 .....	8
Abbildung 4: Historische Entwicklung der globalen abiotischen Rohstoffinanspruchnahme .....	10
Abbildung 5: Entwicklung der globalen abiotischen Extraktionen (Mrd. t) im SSP1-Baselineszenario .....	11
Abbildung 6: Entwicklung der globalen abiotischen Extraktionen (Mrd. t) im SSP3-Baselineszenario .....	11
Abbildung 7: Projizierte Entwicklung der globalen abiotischen Rohstoffinanspruchnahme .....	13
Abbildung 8: Ökonomische Kenngrößen für Deutschland in den PolRes-Referenzszenarien .....	15
Abbildung 9: CO <sub>2</sub> -Emissionen und gesamtwirtschaftliche Energieintensitäten, Deutschland, SSP1 & SSP3 .....	17
Abbildung 10: Abiotischer Materialverbrauch und abiotische Produktivitätsentwicklung in Deutschland .....	19
Abbildung 11: Detaillierte Betrachtung des deutschen abiotischen Materialverbrauchs in Rohmaterialäquivalenten .....	20
Abbildung 12: Simulationsergebnisse der makroökonomischen Auswirkungen in Deutschland, SSP1 und SSP3 .....	24
Abbildung 13: Preisentwicklungen in Deutschland, SSP1 und SSP3 .....	25
Abbildung 14: Entwicklung von Beschäftigung und Einkommen der privaten Haushalte in Deutschland, SSP1 und SSP3 .....	26
Abbildung 15: Politikmix: SSP1 & 3, Produktionswerte (real), durchschnittliche relative Abweichungen 2015-2030, Deutschland .....	27
Abbildung 16: Makroökonomische Effekte der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte (%-Abweichungen von der Baseline) .....	30
Abbildung 17: Sektorale Effekte der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte (%-Abweichungen von der Baseline) .....	31
Abbildung 18: Abiotischer Materialverbrauch und abiotische Produktivitätsentwicklung in Deutschland .....	34
Abbildung 19: Globale Auswirkungen des Politikmix, durchschnittliche absolute Abweichungen von der Baseline p.a. (Mio. t.) .....	35
Abbildung 20: Individuelle Beiträge der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte zur Reduktion der globalen Rohstoffinanspruchnahme (% Anteile an den Gesamteffekten im SSP3-Umfeld) .....	36
Abbildung 21: Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“, durchschnittliche absolute Abweichungen von der Baseline im SSP3-Umfeld p.a. (Mio. t.) .....	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Anteile einzelner Länder und Regionen am Welt-BIP in v. H. ....	6
Tabelle 2: Im Politikmix berücksichtigte Instrumente .....	21
Tabelle 3: Durchschnittlich stärkste relative Steigerungen der Bruttonominalwerte .....	28
Tabelle 4: Durchschnittlich stärkste relative Reduktionen der Bruttonominalwerte .....	29

## 1. Einleitung: Zur Methodik

Die Bewertung von ressourcenpolitischen Instrumenten hängt insbesondere davon ab, welche Annahmen zu zukünftigen Entwicklungen ohne entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Da die Zukunft grundsätzlich offen ist, wird die Festlegung auf eine einzige Referenzentwicklung dabei häufig als Einschränkung zukunftsorientierter Simulationsrechnungen wahrgenommen. Mit Blick auf den hierfür benötigten Arbeitsaufwand, die Anschlussfähigkeit der Ergebnisse und deren Vergleichbarkeit hat sich das PolRess Team dazu entschlossen, sämtliche umweltökonomischen Simulationsrechnungen im Kontext verschiedener, in der Literatur bereits etablierter Referenzentwicklungen zu verankern. Hierzu wurde auf die im Rahmen des IPCC entwickelten „Shared Socio Economic Pathways“ (SSP-Szenarien) (O'Neill, et al., 2014) zurückgegriffen, da diesen Projektionen von internationalen Bevölkerungsentwicklungen und ökonomischen Wachstumstrends in bereits quantifizierter Form entnommen werden können (siehe <https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/>).<sup>1</sup>

In Anlehnung an die Vorgaben zu den SSP-Szenarien 1 und 3 wurden im internationalen Simulationsmodell GINFORS zwei alternative Umfeldszenarien zur Bewertung ausgewählter Politikinstrumente parametrisiert. GINFORS bildet zentrale ökonomische Parameter für 38 Nationalstaaten sowie den Rest der Welt ab und kann weiterhin wichtige Umweltparameter projizieren, darunter die Entwicklung von Treibhausgasemissionen und die Nutzung von Materialien. Mit der weltweiten Abdeckung kann das Modell insbesondere auch Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit und die Verlagerung von Wirtschaftsaktivitäten abbilden.

Technische Kalibrierungsdetails sowie die methodische Umsetzung der nachfolgend betrachteten Politiksimulationen wurden in einem eigenständigen PolRess Arbeitspapier zusammengefasst (Meyer, Meyer, & Walter, 2015). Einleitend soll daher an dieser Stelle die Vorgehensweise zur Auswahl der SSP-Szenarien nur allgemein erläutert werden.

Für die Zwecke des Projektes erschien es sinnvoll, zwei SSP's heraus zu greifen, die die ganze Spannweite denkbarer Entwicklungen einschließen (insgesamt werden 5 verschiedene SSP's unterschieden). SSP1 beschreibt eine Welt, in der ein sehr starkes Wirtschaftswachstum vor allem in den Entwicklungs- und

---

<sup>1</sup> Die SSP-Szenarien beschreiben alternative künftige globale sozioökonomische Entwicklungen, die mit unterschiedlichen Herausforderungen im Hinblick auf die Vermeidung von Problemen des Klimawandels und der Anpassung an unerwünschte Folgen des Klimawandels verbunden sind. Eine detailliertere Einführung zu und Übersicht der SSPs bieten (Kriegler, et al., 2012), weiterführende Details und Hintergründe können zudem (van Vuuren, et al., 2012) entnommen werden.

Da konkrete ressourcenpolitische Vorgaben nicht im Mittelpunkt verfügbarer SSP-Projektionen stehen, wurden im Projektverlauf auch umfangreiche Stakeholderprozesse zur Erarbeitung eigenständiger qualitativer Umfeldszenarien der Ressourcenpolitik durchgeführt. Eine quantitative Parametrisierung dieser Projektoutputs konnte im PolRess-Rahmen allerdings nicht realisiert werden. Entsprechende weiterführende Arbeiten werden derzeit jedoch im UFOPLAN-Vorhaben „Modelle, Potenziale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz“ (SimRess, FKZ: 3712 93 102) vorangetrieben.

Schwellenländern dafür ursächlich ist, dass Armutprobleme zwischen den Ländern, aber auch innerhalb der Länder abgebaut werden können. Die Weltbevölkerung wächst wegen der Überwindung der Armut vergleichsweise schwach, der anhaltende technische und gesellschaftliche Fortschritt unterstützt eine aktive Bekämpfung der Klimaprobleme.

SSP3 dagegen zeichnet eine Zukunft, in der die globalen ökonomischen Wachstumsraten stagnieren bei gleichzeitig sehr dynamischer Entwicklung der Bevölkerungszahlen. Der notwendige technische und gesellschaftliche Wandel zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bleibt aus.

(Chateau & Dellink, 2012) haben mit dem OECD ENV-Growth Model SSP-spezifische ökonomische Rahmendaten für verschiedene Länder fortgeschrieben. Das OECD ENV Growth Model ist ein neoklassisches Wachstumsmodell. Dies bedeutet, dass die weltwirtschaftliche Entwicklung allein durch die angebotsseitige Entwicklung in den Ländern determiniert wird. Wichtig ist dabei die Hypothese der Existenz einer länderspezifischen „frontier“ für die totale Faktorproduktivität, die von verschiedenen Parametern wie „Marktoffenheit“ etc. abhängt. Ferner ist die Geschwindigkeit, mit der die totale Faktorproduktivität steigt, abhängig von der Distanz zur „frontier“. Diese und weitere Hypothesen ergeben in der Tendenz hohe Wachstumsraten für Länder mit geringem Einkommen und entsprechend relativ niedrige Wachstumsraten in Ländern mit hohem Einkommen, was schließlich langfristig zur Konvergenz führt.

In drei Schritten wurde das Modell GINFORS so kalibriert, dass es die realen wirtschaftlichen Wachstumsraten der beiden SSP's weitgehend reproduziert. In einem ersten Schritt wurde die exogene Variable Bevölkerung des Modells GINFORS an die Vorgaben von SSP1 bzw. SSP3 angepasst. In einem zweiten Schritt wurden endogene Strukturen so kalibriert, dass für einzelne Länder die preisbereinigten Entwicklungen der jeweiligen Bruttoinlandsprodukte weitgehend nachgezeichnet werden konnten.

Ferner mussten für die klimapolitischen Politikvariablen Einstellungen gefunden werden, die mit den ausgewählten SSP's kompatibel erscheinen. Diesbezüglich existieren keine eindeutigen Vorgaben.<sup>2</sup> Bei der Kalibrierung auf Basis der SSP3-Vorgaben wurde eine modellendogene „business-as-usual“ Fortschreibung gewählt. Im Fall des SSP1 wurden die gegebenen Freiheiten in der Formulierung der Politik folgendermaßen genutzt: Es wird ein globaler Carbon Price unterstellt, der allerdings die Probleme nur teilweise löst. Hinzu kommt die Förderung der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung, die Förderung der Elektromobilität und der Energieeffizienz der Gebäude.

Isolierten klimapolitischen Maßnahmen fällt es relativ schwer, eine Dekarbonisierung der Grundstoffindustrien zu induzieren. Für weitergehende klimapolitische Parametrisierungen müssten daher in der SSP1-Baseline bereits umfassende Dematerialisierungsannahmen zur Erreichung ambitionierter globaler Klimaschutzziele unterstellt werden (Ekins, Meyer, Schmidt-Bleek, & Schneider, 2014). Diese Vorgehensweise würde allerdings implizieren, dass das ressourcenpolitische Kernthema einer nachhaltigen Dematerialisierung des Wirtschaftskreislaufs (zumindest in weiten Teilen) bereits in der Baseline durch exogen vorgegebene klimapolitische Zielsetzungen realisiert wird. Der diesbezügliche ressourcenpolitische

---

<sup>2</sup> Die SSP-Szenarien wurden dazu entwickelt, gesellschaftliche Herausforderungen klimapolitischer Entwicklungen im Kontext alternativer Referenzszenarien zu analysieren. Ein individuelles SSP-Szenario ist daher nicht grundsätzlich mit einem spezifischen klimapolitischen Regime assoziiert.



Handlungsbedarf wäre dann nicht mehr explizit abbildbar. Da diese Dimension der Umweltpolitik zudem von den SSP-Modellier-Teams bislang nicht betrachtet wurde, kann unter Beachtung der thematischen Zielsetzung des PolRess-Projektes der expliziten Abschätzung dieses Handlungsbedarfs eine hohe Priorität zugesprochen werden. Daher wurden in beiden Baselineparametrisierungen keine aktiven internationalen Politiksznarien im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch unterstellt. Die ressourcenspezifischen Ergebnisse spiegeln somit jeweils „business-as-usual“ Projektionen im Kontext alternativer sozio-ökonomischer Wachstumsdynamiken unter (möglichst umfassender) Berücksichtigung plausibel erscheinender klimapolitischer Entwicklungen.

In diesem Sinne können die nachfolgend diskutierten GINFORS-Simulationen als ein erster Test der in den SSP-Annahmen implizierten globalen Extraktionsmuster interpretiert werden. Um diese Interpretation nicht zu erschweren, wurden in allen Simulationsrechnungen gleiche Vorgaben hinsichtlich der Weltmarktpreise für Metalle unterstellt. Der Rohstoffpreis für Metalle wächst zu Beginn mit einer Rate von 6%, die sich bis 2050 kontinuierlich auf 3% reduziert. Die notwendigen Vorgaben für energie-spezifische Rohstoffpreise wurden im SSP1-Fall den IEA Szenarien für die 2 Grad Erwärmung entnommen, für das SSP3-Szenario wurden die Preisentwicklungen des 6 Grad-Szenarios übernommen (IEA, 2012).

Auf Basis der soeben beschriebenen Kalibrierungsarbeiten liegen nun zwei alternative Parametrisierungen von Umfeldszenarien in GINFORS vor, welche hinsichtlich ihrer globalen Bevölkerungsannahmen mit den ausgewählten SSP-Szenarien identisch sind und bezüglich der resultierenden internationalen ökonomischen Entwicklungstendenzen auf die jeweiligen SSPs abgestimmt wurden. Zur Darstellung des hieraus resultierenden PolRess-„Baselinekorridors“ fasst Abschnitt 2 wesentliche Charakteristika der alternativen Baselineprojektionen bis zum Jahr 2050 zusammen. Kapitel 3 berichtet daraufhin über die Ergebnisse der jeweiligen Politiksimulationen. Zum Abschluss erfolgt in Kapitel 4 eine Zusammenfassung der Befunde.

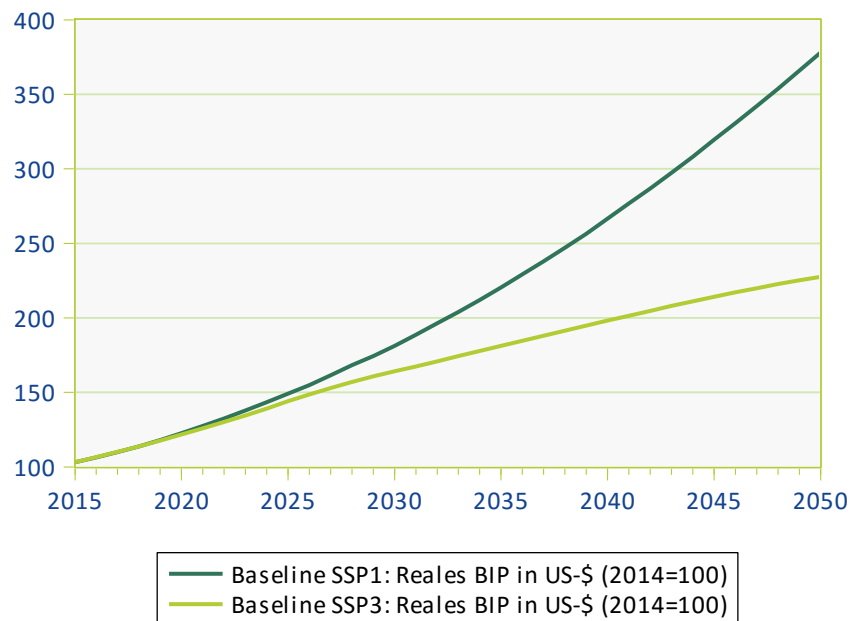
## 2. Vorstellung der Umfeldszenarien

### 2.1. Globale Umfeldentwicklungen

#### 2.1.1. Ökonomische Entwicklungen

Zur Betrachtung realer internationaler ökonomischer Entwicklungen können unterschiedliche Evaluationsmethoden herangezogen werden. Die ökonomischen Angaben der SSP-Datenbank basieren auf einer Betrachtung von Kaufkraftparitäten, in GINFORS werden reale ökonomische Entwicklungen auf Basis fester Preise und Wechselkurse eines Basisjahres ausgedrückt. Wenn das globale Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Kaufkraftparitäten ausgedrückt wird, so ist dieses seit Anfang der 90er Jahre real durchschnittlich um etwas mehr als 3,3% pro Jahr gewachsen (eigene Berechnung auf Basis der World Development Indicators).

PolRess Referenzszenarien: Globale Ökonomische Entwicklung



PolRess Referenzszenarien: Globale Ökonomische Entwicklung

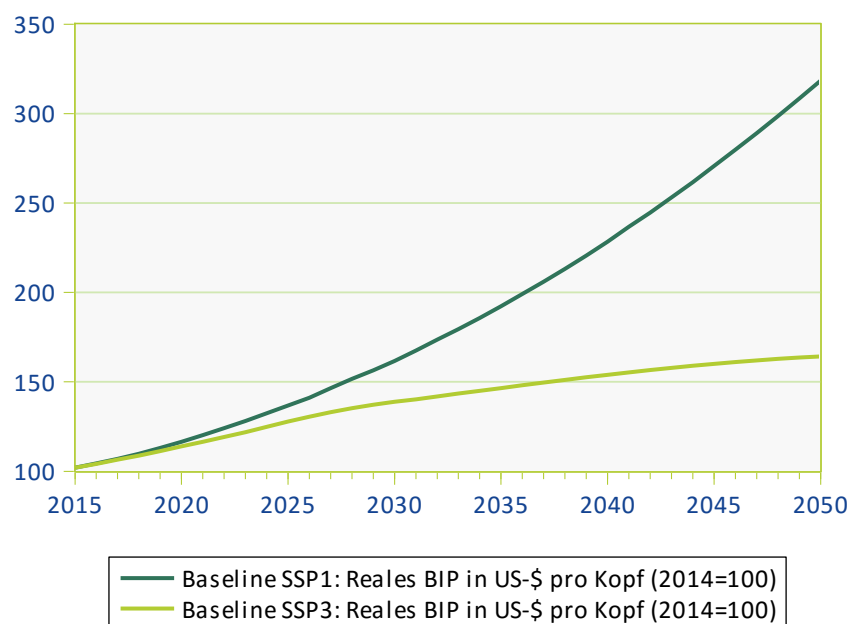


Abbildung 1: Globales reales BIP, SSP1 & SSP3

Quelle: GINFORS

Wird eine reale Darstellung in Wechselkursen und Preisen eines festen Basisjahres gewählt, so ergibt sich für die entsprechenden (logarithmischen) Jahreswachstumsraten ein Mittelwert von 2,6% (eigene Berechnung auf Basis der World Development Indicators). Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des globalen realen BIPs in den eigenen Simulationsrechnungen als Index (2014=100). In dieser, wie in allen folgenden Abbildungen

werden mit „SSP1“ bzw. „SSP3“ die jeweils in Anlehnung an die genannten SSP-Vorgaben kalibrierten PolRess-Referenzszenarien bezeichnet. Die obere Grafik zeigt die Entwicklung in absoluten Niveaus, die untere Grafik betrachtet pro-Kopf Relationen.

Bis zum Jahr 2016 werden in den Original-SSP-Projektionen grundsätzlich identische Annahmen unterstellt.<sup>3</sup> In den von uns implementierten Umfeldszenarien wird im Szenario in Anlehnung an SSP3 nach 2016 eine Abschwächung der Wachstumsraten auf einen durchschnittlichen Wert von 2,3% pro Jahr (in Wechselkursen und Preisen des Jahres 1995) erwartet. Im Umfeldszenario in Anlehnung an SSP1 wird dagegen eine Beschleunigung des Weltwirtschaftswachstums auf durchschnittlich mehr als 3,6% pro Jahr impliziert. Im Jahre 2050 liegt das globale reale BIP in diesem Szenario ungefähr zwei Drittel über dem Wert, der in Anlehnung an SSP3 erreicht wird.

Das reale Welt-Bruttoinlandsprodukt pro Kopf ist seit Anfang der 1990er Jahre nur um durchschnittlich 1,3% pro Jahr (feste Wechselkurse) bzw. etwas mehr als 2% (Kaufkraftparitäten) gestiegen (eigene Berechnung auf Basis der World Development Indicators). Das an SSP3 angelehnte PolRess-Szenario impliziert, dass diese Raten bis zum Jahr 2050 durchschnittlich gehalten werden, wobei die Wachstumsraten ab Mitte der 2020er Jahre deutlich niedriger ausfallen. Im an die SSP1-Vorgaben angelehnten Szenario wird sich die Wachstumsrate des realen GDP pro Kopf hingegen im Durchschnitt gegenüber der Entwicklung der vergangenen 20 Jahre mehr als verdoppeln. Die SSP1-Implementation verspricht somit eine nie dagewesene Prosperität, die SSP3-Variante die (etwas gedämpfte) Fortsetzung der historischen Gegebenheiten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anteile wichtiger Länder/Regionen am Welt GDP (in Wechselkursen und Preisen des Jahres 1995) für das Jahr 2010 im Vergleich zu eigenen Projektionen beider Umfeldszenarien für das Jahr 2050 in. Die Region ROW (Rest of World) umfasst die Entwicklungsländer und die OPEC. Zur Gruppe der sonstigen Länder sind hier in der Tabelle Russland, Brasilien, Korea, Australien, Türkei, Mexiko und Kanada zusammengefasst. Es handelt sich um Länder mit vergleichsweise kleinem GDP, die sowohl zur Gruppe der Schwellenländer als auch der Industrieländer zählen.

In beiden Zukünften wird der Anteil der Industrieländer dramatisch abnehmen und jener der Schwellen- und Entwicklungsländer steigen. Heute beträgt der Anteil der EU, der USA und Japans zusammengefasst fast 2/3 des Welt GDP, im Szenario SSP1 werden es im Jahre 2050 nur noch gut 1/3 sein. Die Gruppe der Entwicklungsländer, die sich weitgehend hinter ROW verbirgt, wird dann in etwa denselben Anteil am Welt GDP haben wie die EU, USA und Japan zusammen.

---

<sup>3</sup> Für die Kalibrierungsarbeiten konnten der SSP-Datenbank grundsätzlich historische Beobachtungen bis zum Jahr 2010 entnommen werden. Für den Zeitraum bis 2016 wurden diese in (Chateau & Dellink, 2012) auf Basis verfügbarer Kurzfristprognosen mit identischen Wachstumsraten fortgeschrieben. Für die PolRess-Implementierungsarbeiten wurden die historischen makroökonomischen Entwicklungen bis zum Jahr 2012 berücksichtigt. Für die Folgejahre erfolgte daraufhin jeweils eine eigenständige Kalibrierung der GINFORS-Projektionen an die entsprechenden SSP-Vorgaben.

	2010	2050	
		SSP1	SSP3
<b>EU</b>	28,7	15,3	16,7
<b>USA</b>	24,4	14,1	16,4
<b>Japan</b>	13,4	5,4	5,9
<b>China</b>	6,6	11,7	10,5
<b>Indien</b>	2,2	5,2	4,5
<b>ROW</b>	12,7	37,0	33,4
<b>Sonstige</b>	12,0	11,3	12,6
<b>Summe</b>	100,0	100,0	100,0

**Tabelle 1: Die Anteile einzelner Länder und Regionen am Welt-BIP in v. H.**

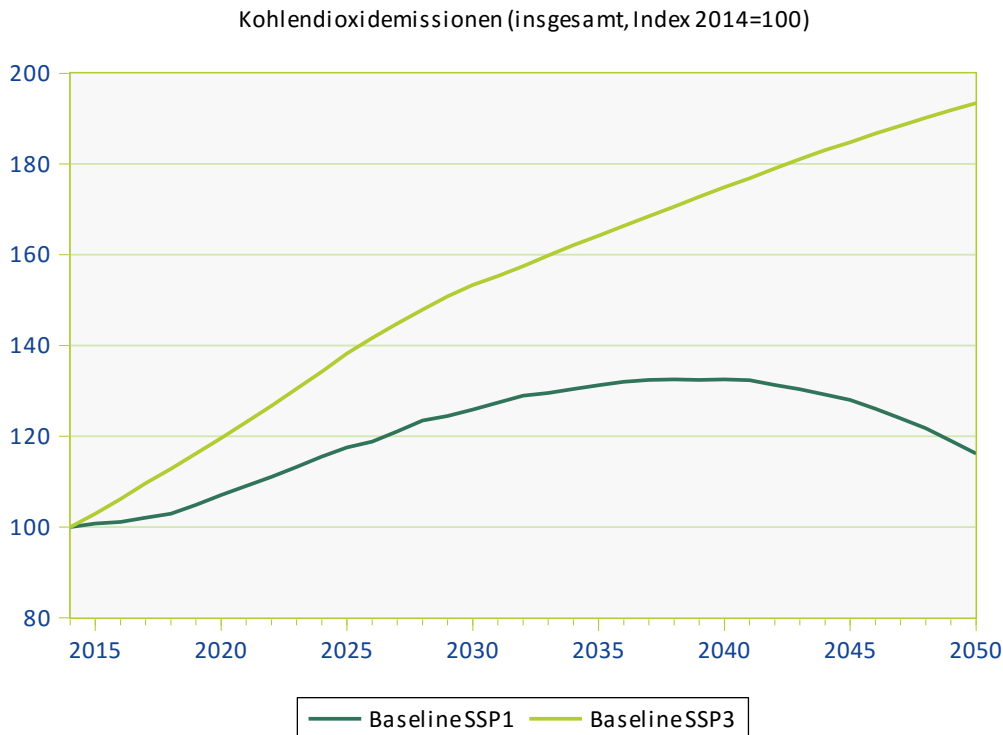
Quelle: GINFORS

Die dramatische Beschleunigung des globalen Wirtschaftswachstums im Szenario SSP1 hat offenbar seine Quelle in der Expansion der Entwicklungsländer, die nunmehr wie zuvor die Schwellenländer China und Indien mit Wachstumsraten des BIP von 7% aufwarten. Im Szenario SSP3 nimmt der Anteil der Entwicklungs- und der Schwellenländer auch zu, dieses Wachstum ist aber weniger stark ausgeprägt.

## 2.1.2. CO<sub>2</sub>-Emissionen

Da global die Klimapolitik nicht weiterentwickelt wird, verdoppeln sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im an SSP3-Rahmendaten angelehnten Szenario annähernd von 2014 bis 2050. Eine Verschärfung der Situation wird erkennbar, wenn man die Relation zwischen der Wachstumsrate der Emissionen mit der des realen BIP vergleicht: Im Zeitraum 1995-2009 betrug die Wachstumsrate der Emissionen pro Jahr 1,9% bei einem realen BIP-Wachstum von mehr als 3,5%. Bis 2050 nehmen die Emissionen in diesem Szenario hingegen weiterhin um durchschnittlich 1,8% pro Jahr zu, allerdings bei einer deutlich reduzierten durchschnittlichen Wachstumsrate des realen BIP von 2,3% pro Jahr. Die Ursache ist, dass Länder mit einem relativ hohen Anteil ineffizienter Technologien zunehmend globale Bedeutung erlangen.

Im an die ökonomischen Rahmendaten der SSP1-Projektionen angelehnten Umfeldszenario gelingt dagegen durch eine engagierte Klimapolitik bis 2050 zumindest eine annähernde Stabilisierung der Emissionen auf heutigem Niveau. Damit ist das 2 Grad Ziel allerdings nicht erreicht, da die klassische Klimapolitik in dieser Simulation keine hinreichende Dekarbonisierung der Grundstoffindustrien induziert. Eigene Vorarbeiten deuten aber darauf hin, dass eine zusätzlich betriebene ebenso engagierte Ressourcenpolitik diese Lücke schließen kann (Meyer, Meyer, & Distelkamp, 2014). Mit der Reduktion des Inputs von Erzen und nichtmetallischen Mineralien werden deren Produktion und damit ebenso der hiermit verbundene Energieeinsatz und die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch sinken. Diese Szenarioimplementation veranschaulicht somit die Notwendigkeit einer Fokussierung umweltpolitischer Maßnahmen auf Extraktionsaktivitäten (Ekins, Meyer, Schmidt-Bleek, & Schneider, 2014).

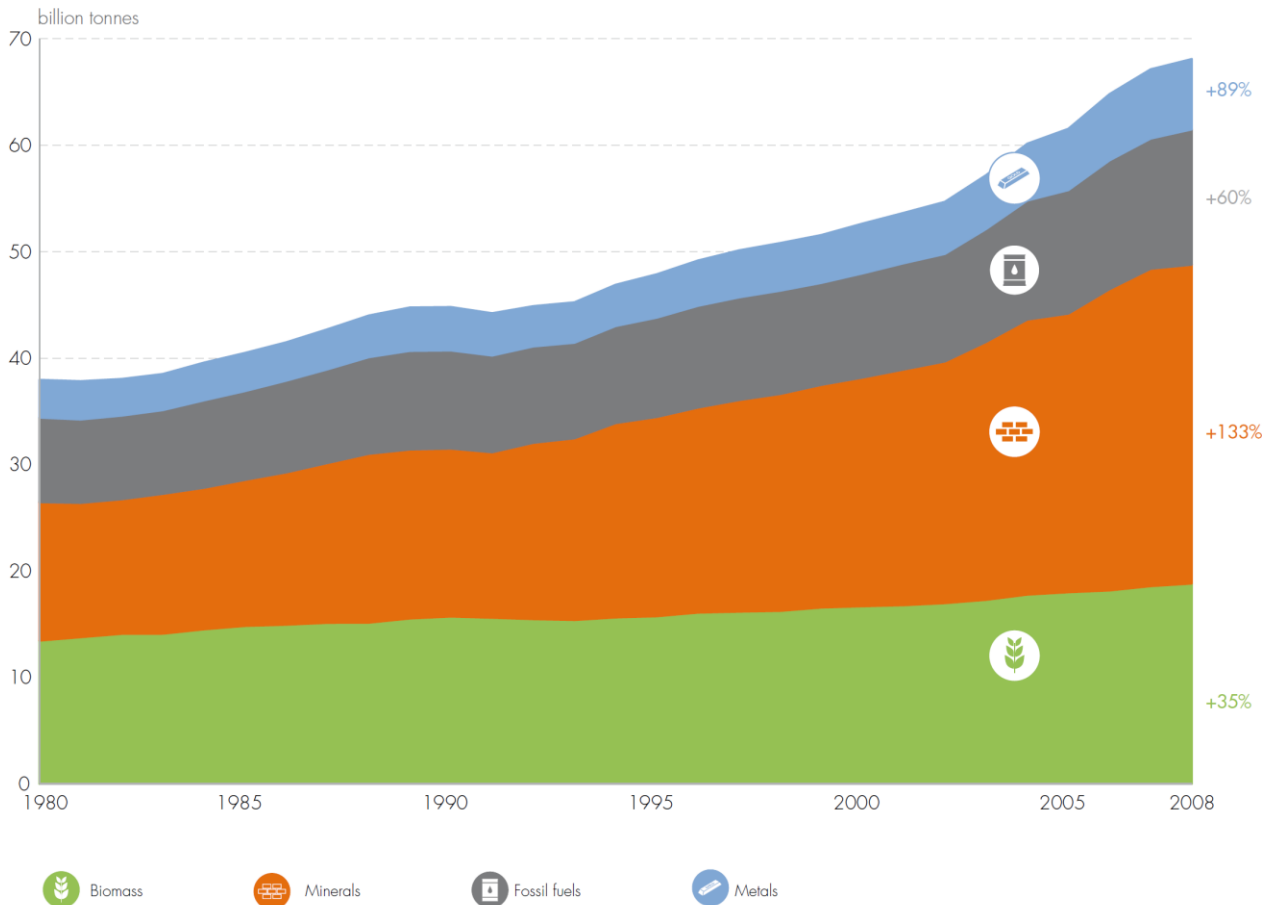


**Abbildung 2: Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen, SSP1 & SSP3**  
Quelle: GINFORS

### 2.1.3. Abiotische Rohstoffinsprichnahme

Zur Einordnung der nachfolgend präsentierten Ergebnisse zur Entwicklung der globalen Materialinsprichnahme beginnt dieser Abschnitt mit einem kurzen Rückblick auf in der jüngeren Vergangenheit beobachtete Entwicklungstrends. Hierzu wird zunächst auf Abbildung 3 verwiesen, welche die global genutzten Extraktionen für die Materialkategorien Biomasse, Industrie- und Baumineralien, Fossile Energieträger sowie Erze im Zeitraum 1980 bis 2008 ausweist. Wie der Originalquelle (Dittrich, Giljum, Lutter, & Polzin, 2012) entnommen werden kann, sind die globalen Extraktionen insgesamt um annähernd 80% innerhalb von 30 Jahren angestiegen. Einzelne Materialkategorien weisen dabei allerdings deutlich unterschiedliche Wachstumsdynamiken auf. Während die globalen Extraktionen biotischer Rohstoffe lediglich um insgesamt 35% anstiegen, war gleichzeitig ein Extraktionsanstieg der Industrie- und Baumineralien um über 130% zu beobachten.

Im gleichen Zeitraum stieg das (in Kaufkraftparitäten berechnete) Welt-Bruttoinlandsprodukt real um 147%. Wenn die obigen Extraktionszahlen im Vergleich zur ökonomischen Entwicklung betrachtet werden, resultiert hieraus ein Anstieg der globalen Materialproduktivität über den Zeitraum 1980 bis 2008 von 38% (Dittrich, Giljum, Lutter, & Polzin, 2013, S. 35).



**Abbildung 3: Historische Entwicklung der globalen Rohstoffinanspruchnahme nach Materialkategorien ab 1980**  
 Quelle: (Dittrich, Giljum, Lutter, & Polzin, 2012)

Biotische Materialien kennzeichnet eine sehr geringe positive Einkommenselastizität.<sup>4</sup> Die abiotischen Materialkategorien entwickelten sich im Vergleich hierzu deutlich dynamischer: Die Inanspruchnahme von Industrie- und Baumineralien stieg annähernd im gleichen Maße wie das globale Bruttoinlandsprodukt, die Extraktion von Erzen wuchs mehr als doppelt so stark und die Extraktion fossiler Rohstoffe annähernd doppelt so stark wie die Inanspruchnahme biotischer Rohstoffe.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass der Verlauf der Abbildung 3 nach der Jahrtausendwende auf eine anhaltende Steigerung der Wachstumsraten für Extraktionen von Industrie- und Baumineralien wie auch von Erzen hindeutet, welcher insbesondere durch das markante ökonomische Wachstum in aufstrebenden Ländern wie China erklärt wird (Bruckner, Giljum, Lutz, & Wiebe, 2012). Jüngere Beobachtungen erhärten diesen Befund: Auf Basis der globalen Extraktionsvolumina des Zeitraums 1995 bis 2011 belaufen sich die mittleren (logarithmischen) Jahreswachstumsraten von Industrie- und Baumineralien auf annähernd 4,7%, die Jahreswachstumsraten der genutzten Erzextraktionen stimmen in diesem Zeitraum

<sup>4</sup> Für eine quantitative Abschätzung von Nachfrageelastizitäten für verschiedene Materialkategorien siehe bspw. (Steinberger, Krausmann, & Eisenmenger, 2010).

mit einem durchschnittlichen Wert von über 3,6% nahezu mit den globalen Wachstumsraten des (in Kaufkraftparitäten berechneten) realen Bruttoinlandsprodukts überein (eigene Berechnungen auf Basis von materialflows.net und World Development Indicators).<sup>5</sup> Diese markanten Anstiege abiotischer Extraktionstätigkeiten sind ursächlich dafür, dass die soeben angesprochenen globalen relativen Entkopplungstendenzen bei Wahl eines kürzeren Beobachtungszeitraums zumindest für abiotische Materialien kaum noch nachweisbar sind.

Die linke Grafik in Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der globalen abiotischen Materialproduktivität im Zeitraum 1995 bis 2009. Hierzu wurde der Quotient aus Welt-Bruttoinlandsprodukt und Summe der global genutzten abiotischen Extraktionen (Industrie- und Baumineralien, Fossile Energieträger sowie Erze) als Index mit Ausgangswert 100 im Jahr 1995 dargestellt.<sup>6</sup> Im Endjahr dieser Beobachtungsperiode lässt sich erkennen, dass die so definierte abiotische Materialproduktivität innerhalb von 14 Jahren lediglich um 0,8% angestiegen ist. Die Entwicklung folgt hierbei allerdings keinem stabilen Trendmuster. Der Kurvenverlauf erreicht bereits im Jahr 2000 mit einem Indexwert von 107,7 sein Maximum, woraufhin ein relativ stetiges Absinken annähernd auf das Niveau des Ausgangswertes zu beobachten ist.<sup>7</sup>

In der rechten Grafik der Abbildung 4 ist gleichzeitig ab dem Jahr 2003 ein deutlicher Anstieg der abiotischen Rohstoffanspruchnahme pro Kopf beobachtbar. Innerhalb von 14 Jahren ist der hier abgebildete Index um 37,3% angestiegen, wobei ein Großteil dieses Zuwachses nach 2002 erfolgte (im Jahr 2002 erreicht dieser Indikator lediglich einen Wert von 107,5). Im Zuge der globalen Rezession kommt dieser Wachstumsprozess nach 2007 dann zunächst zum Erliegen.

Die gesonderte Betrachtung der historischen Periode von 1995 bis 2009 in Abbildung 4 ist dadurch motiviert, dass sämtliche empirischen Verhaltensgleichungen des GINFORS-Modells über diesen Zeitraum ökonometrisch geschätzt wurden. Da insbesondere im SSP1-Szenario ein anhaltender Aufbau der Infrastruktur in Entwicklungs- und Schwellenländern impliziert ist, kann somit nachvollzogen werden, dass in diesen Projektionen die globalen abiotischen Materialeextraktionen zunächst von einem anhaltenden Anstieg der Gruppe der Industrie- und Baumineralien geprägt werden.

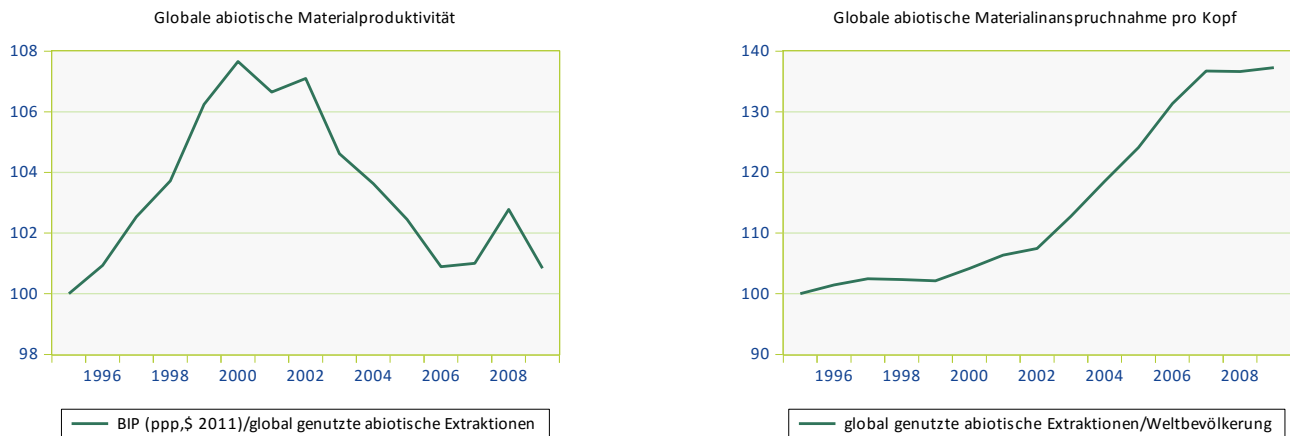
---

<sup>5</sup> Zum Vergleich: Ein Wachstumsprozess mit einer Jahreswachstumsrate von 4,7% impliziert eine ungefähre Vervierfachung der betrachteten Größe innerhalb eines 30-Jahreszeitraums, bei einer Jahreswachstumsrate von 3,6% wird über einen 30-Jahreszeitraum eine annähernde Verdreifachung erreicht.

<sup>6</sup> Die Entwicklung des globalen (in Kaufkraftparitäten berechneten) realen Bruttoinlandsprodukts in Preisen von 2011 wurde den World Development Indicators entnommen. Die Summe der global genutzten abiotischen Extraktionen wurde auf Basis der materialflows.net Daten berechnet.

<sup>7</sup> Zu diesem empirischen Ausblick auf jüngste historische Beobachtungen sei ergänzend angemerkt, dass auch langfristigen Analysen der globalen Materialanspruchnahme entnommen werden kann, dass die Materialproduktivität mineralischer Rohstoffe im Zeitablauf recht konstant erscheint. Siehe hierzu bspw. (Krausmann, Gingrich, Eisenmenger, Erb, Haberl, & Fischer-Kowalski, 2009).

## Historische Trends der globalen abiotischen Materialinsprunahme



**Abbildung 4: Historische Entwicklung der globalen abiotischen Rohstoffinsprunahme**

Quellen: (World Development Indicators, materialflows.net, WIOD Database, eigene Berechnungen)

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die resultierenden Verläufe in den jeweiligen Baselineszenarien. Um eine übersichtliche Darstellung zu ermöglichen, wurde hierzu eine Unterteilung in die beiden Aggregate „Industrie- und Baumineralien“ sowie „Erze und Fossile Energieträger“ vorgenommen. Die Entwicklungen in Anlehnung an SSP1-Vorgaben kann Abbildung 5 entnommen werden. Ausgehend von einem Niveau unterhalb von 60 Mrd. t steigt das gesamte abiotisch genutzte Extraktionsvolumen bis 2050 auf über 220 Mrd. t an. Hieraus resultiert eine durchschnittliche Jahreswachstumsrate von ca. 3,8%. Tendenziell sind diese Wachstumsraten im Zeitablauf rückläufig. Zum Ende der Projektionsperiode werden aber immer noch Wachstumsraten in einer Größenordnung von 2,2% realisiert.

Anhaltende globale Extraktionsrückgänge der fossilen Energieträger ab Mitte der 2030er Jahre werden dabei von Erz-Extraktionssteigerungen überkompensiert, so dass die durch die graue Fläche repräsentierten Materialextraktionen insgesamt im Mittel um annähernd 3,1% pro Jahr wachsen. Die in diesem Szenario unterstellte engagierte Klimapolitik vermag es somit offensichtlich nicht, die Ressourcenproblematik zu lösen. Zwar werden die Extraktionen von Kohle, Gas und Öl drastisch reduziert, aber die notwendigen Investitionen in neue Technologien benötigen neben Erzen auch zusätzliche Baumaterialien. Für Industrie und Baumineralien steigen die (in den Grafiken durch die orangerote Fläche abgebildeten) globalen Extraktionen mit durchschnittlich 4,2% pro Jahr an. Diese Wachstumsrate liegt unter dem zuvor angeführten Referenzwert des historischen Zeitraums 1995 bis 2011 (4,7%). Da für das globale reale Bruttoinlandsprodukt in diesem Szenario weiterhin durchschnittliche Jahreswachstumsraten in einer Größenordnung von 3,6% angenommen werden, ergeben sich somit global keine signifikanten Produktivitätsfortschritte im Hinblick auf diese Materialkategorie.



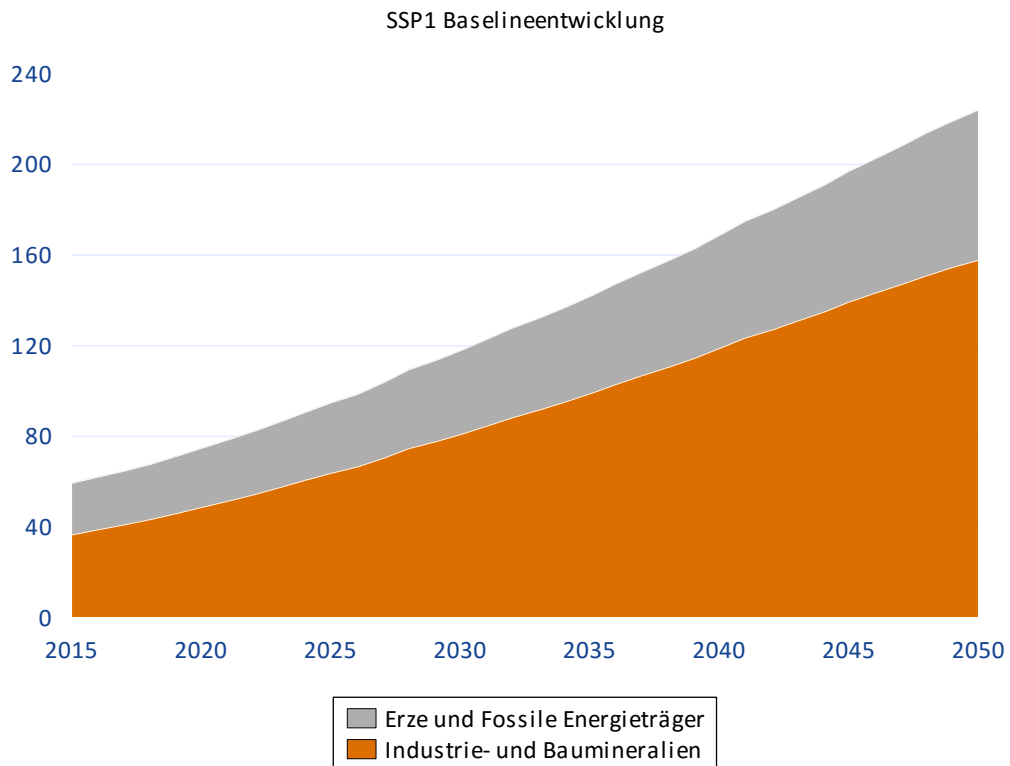


Abbildung 5: Entwicklung der globalen abiotischen Extraktionen (Mrd. t) im SSP1-Baselineszenario  
 Quelle: GINFORS

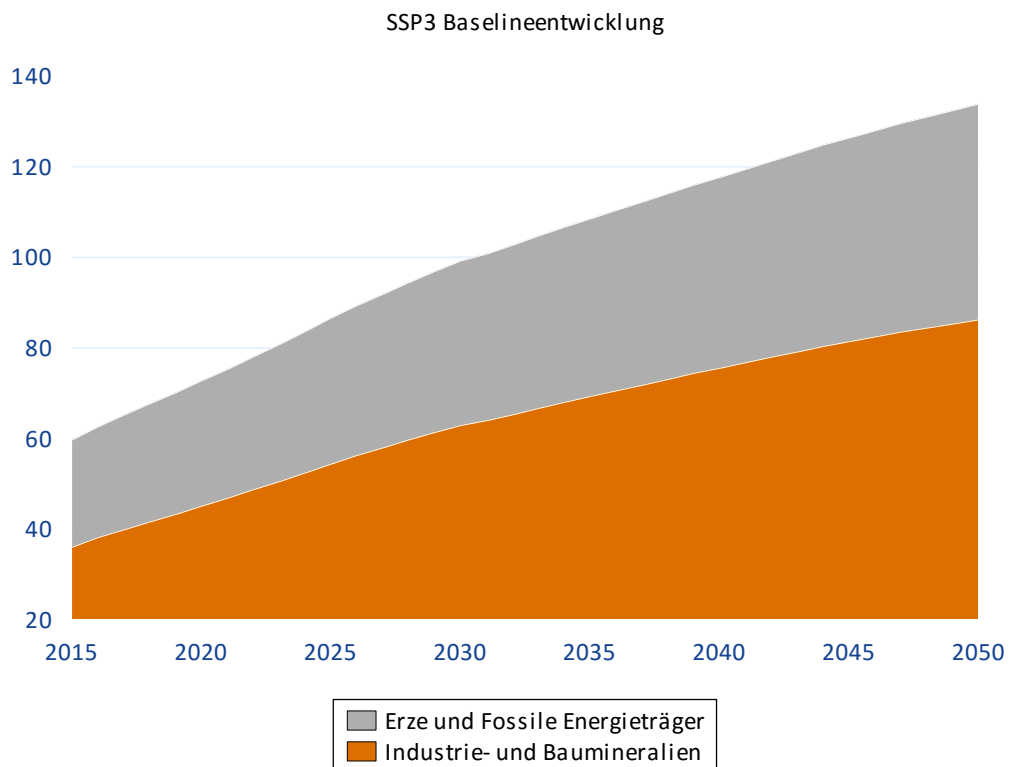


Abbildung 6: Entwicklung der globalen abiotischen Extraktionen (Mrd. t) im SSP3-Baselineszenario  
 Quelle: GINFORS

Im Szenario SSP3 beträgt die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Industrie- und Baumineralien gut 2,5%. Diese liegt somit leicht über den durchschnittlichen jährlichen Zuwächsen des preisbereinigten globalen Bruttoinlandsprodukts (2,3%). Das sehr starke Bevölkerungswachstum in den Schwellen- und Entwicklungsländern ist ein wichtiger Treiber in diesem Zusammenhang.

Die durchschnittlichen Wachstumsraten der Extraktionen von Erzen und Fossilen Energieträgern liegen knapp unter 2,1%, wodurch die Extraktionen sämtlicher abiotischer Mineralien insgesamt im Durchschnitt mit etwas weniger als 2,4% pro Jahr ansteigen. Bedingt durch das mittelfristige Abklingen der globalen ökonomischen Entwicklungsdynamik ist ein deutlicher Rückgang dieser Wachstumsrate im Zeitablauf zu erkennen. Zum Ende des Projektionszeitraums wachsen die gesamten abiotischen Extraktionen nur noch mit gut 1,1% pro Jahr. Die Wachstumsraten der Fossilen Energieträger sind in diesem Szenario ebenfalls rückläufig, verbleiben allerdings bis zum Ende des Projektionszeitraums ebenfalls im positiven Bereich.

Die aus diesen Entwicklungen resultierenden charakteristischen Eigenschaften der globalen abiotischen Rohstoffansprache werden abschließend in Abbildung 7 zusammengefasst. Die linke Grafik zeigt dabei die Entwicklung der weltweiten Nutzung fossiler Energieträger,<sup>8</sup> die rechte Grafik betrachtet das Aggregat sämtlicher abiotischer Extraktionen unter Ausschluss der fossilen Energieträger. Abgebildet sind jeweils die global genutzten Extraktionen in Relation zur Weltbevölkerung (Tonnen pro Person).

Die global pro Kopf genutzten abiotische Extraktionen von Erzen sowie Industrie- und Baumineralien (rechte Grafik der Abbildung 7) summieren sich gegenwärtig zu einem Gesamtvolumen, welches annähernd dem Dreifachen der global genutzten Extraktionen sämtlicher fossiler Energieträger entspricht. In beiden Szenarioimplementationen steigt der pro Kopf-Verbrauch der nicht-fossilen Materialien dauerhaft an, so dass im Jahr 2050 globale Konsumniveaus in einer Größenordnung von 10,8 t (SSP3), bzw. 25 t (SSP1) pro Person erreicht werden.

Im Vergleich zu historischen Referenzwerten sind diese Projektionen zumindest im SSP1-Fall kritisch zu kommentieren. Aus dem PolRess-Projekt ist bekannt, dass der  $RMC_{abiot}$  pro Person (ohne Biomasse und Energieträger) im Jahr 2008 einen Wert von 10,1 t pro Person für die EU27-Staaten erreichte, wobei der korrespondierende Referenzwert für Deutschland mit 12,3 t pro Person angegeben wird (Bringezu & Schütz, 2014).

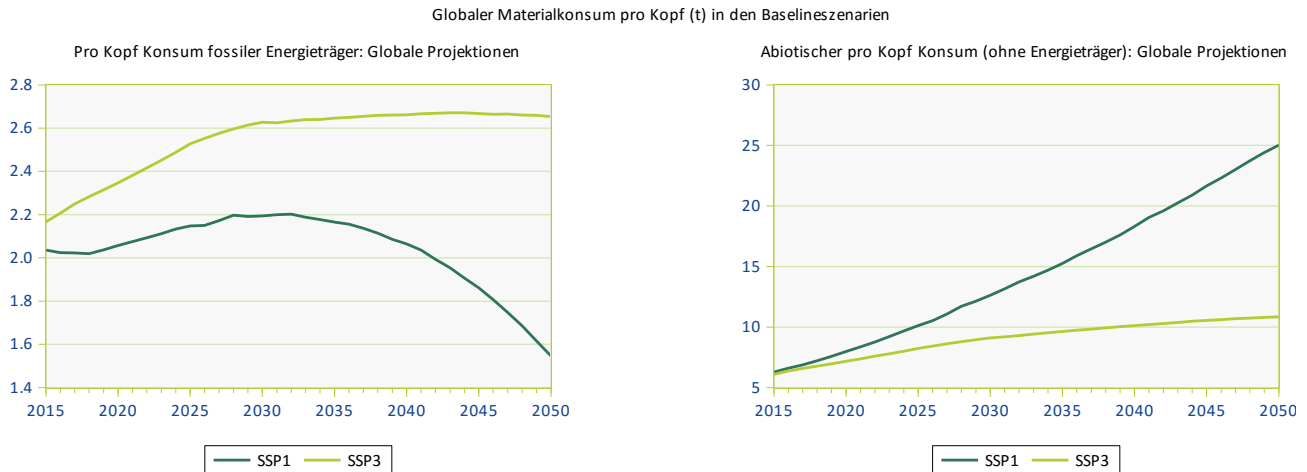
Die SSP3-Entwicklungen implizieren somit bis zum Jahr 2050 einen Anstieg des globalen pro Kopf-Konsums auf ein durchschnittliches Niveau etwas oberhalb des EU27-Durchschnitts des Jahres 2008. Im Vergleich zu derzeit diskutierten Zielvorgaben resultiert hieraus ein deutlicher Handlungsbedarf.<sup>9</sup> Vor Hintergrund der

---

<sup>8</sup> Sämtliche in diesem Text betrachtete Simulationen basieren auf einer Datenbank, welche die historischen Entwicklungen der global genutzten Extraktionen bis zum Jahr 2011 enthält. Die Projektionen der globalen Extraktionen von fossilen Rohstoffen unterscheiden sich daher zu Beginn des Simulationszeitraums geringfügig zwischen beiden Szenarien.

<sup>9</sup> Zu aktuellen Zielvorschlägen siehe bspw. wiederum (Bringezu & Schütz, 2014). Die dort angegebenen Werte für den globalen  $RMC_{abiot}$  pro Person sind allerdings nicht direkt vergleichbar, da diesen unterschiedliche Bevölkerungsprojektionen zugrunde liegen.

zuvor diskutierten historischen Beobachtungen erscheint diese Entwicklung allerdings nicht unplausibel für ein Szenario, welches keine weitergehenden internationalen ressourcenpolitischen Aktivitäten unterstellt.



**Abbildung 7: Projizierte Entwicklung der globalen abiotischen Rohstoffansprache**  
Quelle: GINFORS

Im SSP1-Umfeld ist allerdings impliziert, dass sich der globale pro Kopf Konsum von Erzen sowie Industrie- und Baumineralien bis zum Jahr 2050 ungefähr vervierfacht. Die projizierten Verbrauchswerte liegen damit zwar noch im Bereich historischer RMC Berechnungen (Bruckner, Giljum, Lutz, & Wiebe, 2012). Allerdings nur für hoch entwickelte Länder mit relativ geringer Bevölkerungsdichte.<sup>10</sup> Daher muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass die in der rechten Grafik in Abbildung 7 gezeigten SSP1-Projektionen zentrale Basisannahmen des SSP-Szenarios widerspiegeln (Anstieg der Weltbevölkerung auf annähernd 8,5 Mrd. Menschen, anhaltend hohe ökonomische Wachstumsraten, rasche Konvergenz der internationalen Einkommensniveaus), die aus ressourcenpolitischer Perspektive zumindest herausfordernd erscheinen.

Ursächlich hierfür ist die Tatsache, dass der SSP-Datenbank keine Angaben zur Entwicklung des Materialverbrauchs entnommen werden können. Diese Dimension der Umweltpolitik wird von den SSP-Modellier-Teams nicht betrachtet. Die im vorliegenden Papier diskutierten GINFORS-Simulationen können daher als ein erster Test der in den SSP-Annahmen implizierten globalen Extraktionsmuster interpretiert werden. Unserer Einschätzung nach wird dabei dringender Forschungsbedarf offenbar: Ein globales Konsumniveau in einer Größenordnung von annähernd 25 t nicht-fossiler Materialien pro Person und Jahr lässt sich nicht sinnvoll in die Narrative eines Nachhaltigkeitsszenarios integrieren. Die vorliegenden GINFORS-Simulationen zeigen somit einen Möglichkeitenraum der zukünftigen globalen Materialnutzung auf, welcher in Abwesenheit eigenständiger ressourcenpolitischer Maßnahmen sehr weit gefächert ist. Da das PolRess-Projekt nicht damit beauftragt war, eigenständige globale Referenzszenarien zu entwickeln,

<sup>10</sup> Um ein konkretes Beispiel zu benennen: Für das Länderaggregat bestehend aus Australien, Kanada, Chile, Estland, Finnland, Island, Mexiko, Neuseeland, Norwegen, Schweden und den Vereinigten Staaten wird der RMC (inklusive Biomasse und fossile Energieträger) des Jahres 2005 auf 35,1 Tonnen pro Person geschätzt (Bruckner, Giljum, Lutz, & Wiebe, 2012, S. 572).

bleibt es späteren Forschungsaktivitäten überlassen, diesen Projektionsrahmen detaillierter auszuformulieren.<sup>11</sup>

## 2.2. Zentrale Befunde für Deutschland

Die soeben vorgestellten Simulationsergebnisse wiesen darauf hin, dass eine unmittelbare Übernahme ökonomischer SSP-Eckwerte dazu tendiert, langfristig zweifelhafte globale ressourcenpolitische Projektionen zu implizieren. Hier muss sicherlich kritisch hinterfragt werden, ob derartige Entwicklungstendenzen in Abwesenheit einer Modellierung des Rohstoffangebots langfristig sinnvoll zu interpretieren sind. Die hierfür notwendige explizite Abbildung eventueller planetarer Grenzen war allerdings nicht Aufgabe des PolRess-Projekts. Um den soeben vorgetragenen kritischen Anmerkungen gerecht werden zu können, sollen stattdessen die weiteren Erörterungen auf den Zeitraum bis 2030 fokussiert werden.

### 2.2.1. Ökonomische Entwicklungen

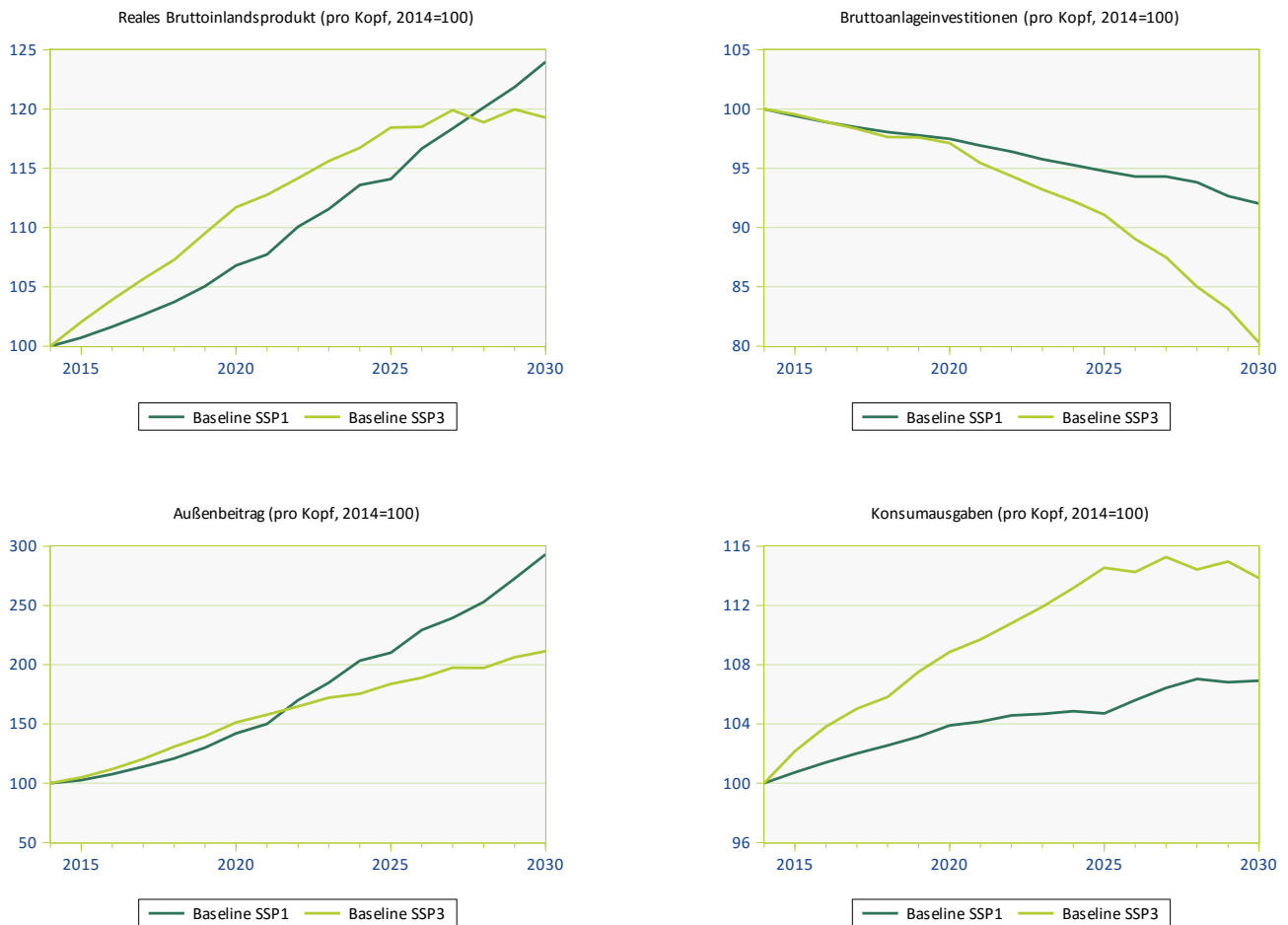
Das kräftige Wachstum der Entwicklungs- und Schwellenländer lässt in beiden Szenarien (in SSP1 stärker als in SSP3) die deutschen Exporte vor allem von Investitionsgütern langfristig deutlich ansteigen, wodurch ohne weitere Modelleingriffe das Wachstum in Deutschland über das vom Szenario gesetzte Maß hinaus schießen würde. Um dies zu korrigieren, werden bei der Kalibrierung die Investitionen gesenkt und die Importquoten angehoben, was insbesondere Vorleistungen betrifft. Durch diese kalibrierenden Modelleingriffe sind beide Umfeldszenarien weiterhin durch (schwächer) steigende Exportüberschüsse charakterisiert, welche einhergehen mit der Verlagerung der Produktion von Vorleistungsgütern ins Ausland, die dann wieder von Deutschland importiert werden. Die Fertigungstiefe der Produktion in Deutschland fällt, Investitionen deutscher Firmen finden zunehmend im Ausland statt.

Abbildung 8 beschreibt für beide Szenarien ein aggregiertes Bild der für Deutschland projizierten ökonomischen Entwicklungen. Da die Bevölkerung in Deutschland im Szenario SSP1 etwa konstant bleibt, im Szenario SSP3 aber durch einen bis zum Jahr 2050 dauerhaft rückläufigen Bevölkerungstrend gekennzeichnet ist, werden jeweils pro Kopf Werte betrachtet. Die durchschnittlichen jährlichen pro Kopf Wachstumsraten des realen BIP (linke obere Grafik in Abbildung 8) rangieren langfristig unterhalb von 1,1% im Szenario SSP3 und etwas oberhalb von 1,6% im Szenario SSP1. Die historische Entwicklung der vergangenen 20 Jahre befand sich mit annähernd 1,6% durchschnittlicher Wachstumsrate am oberen Rand dieses Korridors.

---

<sup>11</sup> Als perspektivischer Ausblick sei an dieser Stelle wiederum auf eigene aktuelle Arbeiten im UFOPLAN-Vorhaben „Modelle, Potenziale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz“ (SimRess, FKZ: 3712 93 102, <http://simress.de/>) wie auch auf das durch das siebte Rahmenprogramm für Forschung und technologische Entwicklung der Europäischen Union unter Grant Agreement No 308371 geförderte Forschungsvorhaben POLFREE (<http://www.polfree.eu>) verwiesen. In SimRess wird eine Auswahl der in PolRess entwickelten qualitativen Umfeldszenarien der Ressourcenpolitik eigenständig in GINFORS parametrisiert. Das Projekt POLFREE hat ebenfalls eigenständige Umfeldszenarien in GINFORS implementiert. Diese Arbeiten zielen somit darauf ab, einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des derzeit offensichtlich noch benötigten Forschungsbedarfs zu leisten. Im Bearbeitungszeitraum des PolRess-Projekts konnte allerdings noch nicht auf entsprechende Ergebnisse zurückgegriffen werden.

## PolRes Umfeldszenarien: Makroökonomische Entwicklungen in Deutschland



**Abbildung 8: Ökonomische Kenngrößen für Deutschland in den PolRes-Referenzszenarien**

Quelle: GINFORS

Der linken unteren Grafik der Abbildung 8 kann entnommen werden, dass dieses Wachstum in beiden Szenarien auf einen signifikanten dauerhaften Anstieg des deutschen Außenbeitrags zurückzuführen ist. Wie bereits erwähnt, resultiert dieser Anstieg aus den unterstellten Wachstumsvorgaben für die Entwicklungs- und Schwellenländer.

Die rechte untere Grafik der Abbildung 8 zeigt die indizierte preisbereinigte Summe sämtlicher gesamtwirtschaftlicher Konsumausgaben. Im Vergleich zur soeben betrachteten Entwicklung des Außenbeitrags sind hier in beiden Szenarien lediglich schwache Wachstumstendenzen zu erkennen. Das abgebildete Aggregat wächst in den jeweiligen Langfristprojektionen durchschnittlich mit ca. 0,5% bis 0,8% pro Jahr, wobei das Szenario in Anlehnung an SSP3 durch relativ höhere pro Kopf-Werte gekennzeichnet ist. Der leichte Rückgang der Investitionen bei Kalibrierung der SSP1-Vorgaben um langfristig durchschnittlich weniger als 0,4% p.a. (rechte obere Grafik der Abbildung 8) unterscheidet sich von der historischen Entwicklung der vergangenen 20 Jahre nur wenig: Die Wachstumsrate des realen BIP pro Jahr war fast identisch, der Außenbeitrag wuchs dramatisch und die Investitionen waren konstant. Bei dieser Konstellation

wundert es nicht, dass im Umfeldszenario in Anlehnung an SSP3-Vorgaben die Investitionen bei einem deutlich schwächeren Wachstum des realen BIP deutlich rückläufig sind.

## 2.2.2. CO<sub>2</sub>-Emissionen

Für die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird auf Basis der ökonomischen SSP1 Vorgaben bis zum Jahr 2050 eine Reduktion von ca. 60% im Vergleich zum Emissionsniveau des Jahres 1990 projiziert. Das ist weniger als die Zielmarke von 80%, die der EU Roadmap zu Grunde liegt.<sup>12</sup> Auch in diesem Fall gilt aber das bereits im globalen Kontext angeführte Argument: Eine konsequente internationale Ressourcenpolitik kann die weitgehende Dekarbonisierung der Grundstoffindustrien erreichen und somit das Restproblem lösen. Bis zum Jahr 2030 werden allerdings erst Reduktionen in einer Größenordnung von annähernd 14% erzielt (obere Grafik der Abbildung 9). Im Szenario SSP3 wird, bei schwachem Wirtschaftswachstum, anhaltenden Effizienzsteigerungen im Energieeinsatz und unveränderter Klimapolitik ein Rückgang der Emissionen um 20% bis zum Jahr 2050 projiziert. Bis zum Jahr 2030 werden allerdings weniger als 7% realisiert.

Die soeben angesprochenen Effizienzsteigerungen werden in den verbleibenden Grafiken der Abbildung 9 dargestellt. Die mittlere Grafik betrachtet hierzu die gesamtwirtschaftliche Energieintensität, definiert als Quotient aus gesamtwirtschaftlicher (Brutto-)Energienachfrage und preisbereinigtem Bruttoinlandsprodukt. Zu erkennen ist, dass im Umfeldszenario in Anlehnung an SSP1 ein relativ stärkerer technologischer Fortschritt impliziert ist.

Gleichzeitig wird in unserer Implementierung der SSP1-Vorgaben ein wesentlich stärkerer Rückgang des Anteils fossiler Energieträger am gesamten Energieaufkommen projiziert. So reduziert sich in dieser Projektion die Energienutzung auf Basis fossiler Energieträger in Relation zum preisbereinigten Bruttoinlandsprodukt um annähernd 40% bis zum Jahr 2030 (untere Grafik der Abbildung 9). Im an SSP3-Vorgaben angelehnten Umfeldszenario verringert sich diese Relation ebenfalls. Allerdings entfalten sich diese Reduktionen wesentlich undynamischer als im SSP1-Umfeld.

---

<sup>12</sup> Vergleiche hierzu (European Commission, 2011).

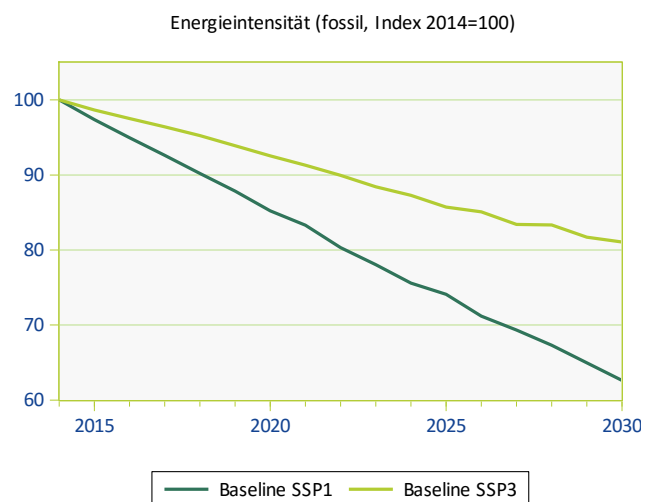
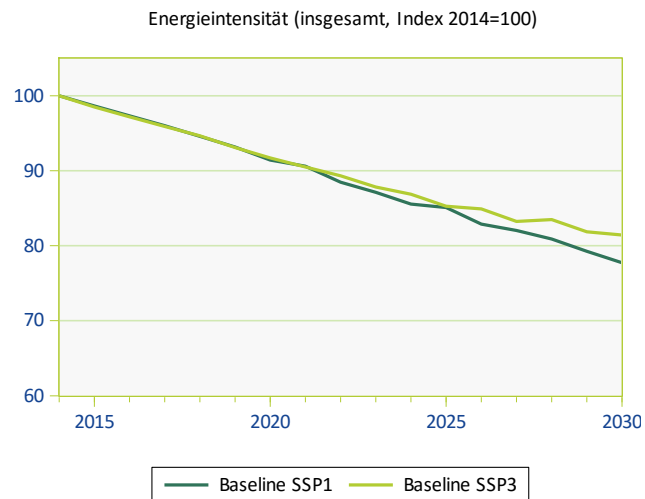
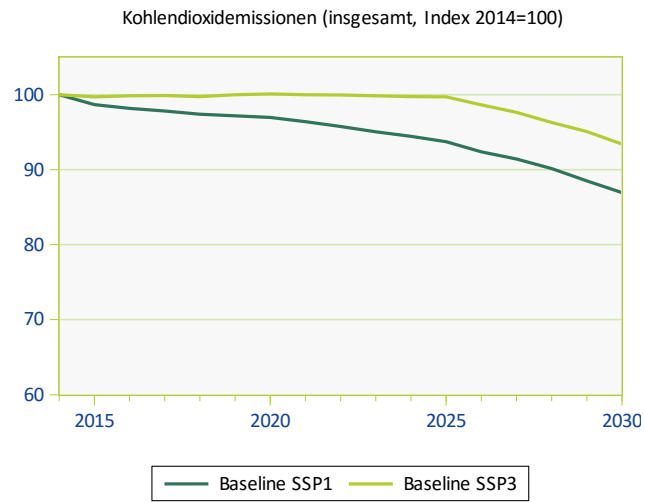


Abbildung 9: CO<sub>2</sub>-Emissionen und gesamtwirtschaftliche Energieintensitäten, Deutschland, SSP1 & SSP3  
Quelle: GINFORS

## 2.2.3. Abiotische Rohstoffinanspruchnahme

Aus der amtlichen Berichterstattung ist bekannt, dass der abiotische Materialeinsatz in Deutschland zunehmend durch Importe gedeckt wird. Der Anteil der importierten Güter am gesamten Primärmaterialereinsatz erhöhte sich von 26% im Jahre 1994 auf 38% im Jahre 2012 (Statistisches Bundesamt (a), 2014). Hierbei machten sich in der Vergangenheit insbesondere die gestiegenen Importe von metallischen Halb- und Fertigwaren und fossilen Energieträgern bemerkbar. Die Summe aus abiotischer inländischer Rohstoffentnahme und Importen ist daher unter Einbeziehung der indirekten Importe zwischen 2000 und 2011 um 2,4% angestiegen (Statistisches Bundesamt (a), 2014).

Um die Ergebnisse für Deutschland in Relation zu den im vorigen Unterabschnitt präsentierten globalen Entwicklungen interpretieren zu können, bedarf es daher einer Darstellung der deutschen Materialinanspruchnahme in Rohstoffäquivalenten. Hierzu kann inzwischen auf die Berechnungen eines eigenständigen GINFORS-Moduls zurückgegriffen werden, welches rohstoffspezifische Entwicklungen zu einem Indikatorset zusammenführt, wie es in ähnlicher Form bspw. auch aus der aktuellen Berichterstattung des Statistischen Bundesamt bekannt ist (Statistisches Bundesamt (b), 2014).<sup>13</sup> Das GINFORS-Indikatorenmodul befindet sich derzeit in seiner Evaluationsphase, weshalb die entsprechenden Projektionen noch als vorläufig zu klassifizieren sind. Angesichts des hohen Interesses an diesbezüglichen Projektionen soll dennoch an dieser Stelle informatorisch über die sich abzeichnenden Entwicklungstendenzen berichtet werden.

Die Indikatorprojektionen in GINFORS basieren auf einem eigenständigen globalen Multi-Region Input-Output (MRIO) Algorithmus. Methodisch ähnliche Berechnungsalgorithmen sind in der Vergangenheit bspw. bereits von (Wiebe, Bruckner, Giljum, Lutz, & Polzin, 2012) oder (Bruckner, Giljum, Lutz, & Wiebe, 2012) zur Analyse historischer Stoffströme angewandt worden. Die Anwendung eines Multi-Region Input-Output Algorithmus in dynamischen Projektionen mit variablen preisabhängigen Produktions- und Außenhandelsanteilen markiert im Vergleich hierzu allerdings eine deutliche Erweiterung des Berichtsumfangs.<sup>14</sup> Für die Ergebnisdarstellungen im PolRess-Projekt wurden diese Berechnungsroutinen im Sinne einer möglichst weitgehenden Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der amtlichen Berichterstattung (Statistisches Bundesamt (b), 2014) angepasst.

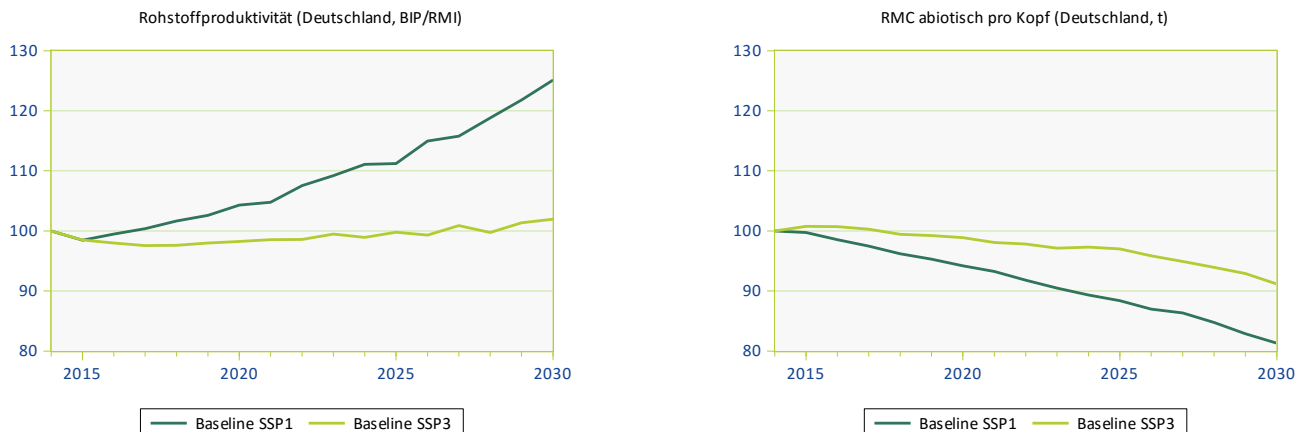
Abbildung 10 zeigt die hieraus resultierende Entwicklungsdynamik der abiotischen Rohstoffproduktivität, definiert als Quotient aus preisbereinigtem Bruttoinlandsprodukt und  $RMI_{abiot}$  (linke Grafik) sowie des für Deutschland berechneten  $RMC_{abiot}$  in Relation zur Bevölkerungszahl (rechte Grafik). Der linken Grafik kann entnommen werden, dass die abiotische Rohstoffproduktivität im SSP3-Szenario langfristig stagniert. Im SSP1-Szenario wird hingegen ein dauerhafter Anstieg der abiotischen Rohstoffproduktivität projiziert. Im Durchschnitt ergibt sich eine jährliche Wachstumsrate von ca. 1,7%.

---

<sup>13</sup> Methodische Details der betrachteten Indikatoren  $RMC_{abiot}$  und  $RMI_{abiot}$  wurden im PolRess-Konsortium von Kollegen des Wuppertal Instituts übersichtlich zusammengestellt und können in einem eigenständigen Beitrag nachgelesen werden (Bringezu & Schütz, 2014).

<sup>14</sup> Für thematisch vergleichbare Studien auf europäischer Ebene siehe bspw. auch (European Commission, 2014).





**Abbildung 10: Aiotischer Materialverbrauch und abiotische Produktivitätsentwicklung in Deutschland**

Quelle: GINFORS

Gleichzeitig werden in beiden Szenarien für Deutschland bis Anfang der 2030er Jahre rückläufige pro Kopf Verbrauchswerte erwartet. Der  $RMC_{abiot}$  reduziert sich im SSP1-Szenario bis zum Jahr 2030 um über 18%, im SSP3-Szenario ist ein Rückgang um annähernd 9% bis 2030 zu beobachten. Diese Rückgänge werden grundsätzlich durch anhaltend hohe Wachstumsraten der deutschen Exporte im Vergleich zu den übrigen Verwendungskomponenten des Bruttoinlandsprodukts in beiden Umfeldszenarien stimuliert. Zudem entwickelt sich die Investitionstätigkeit tendenziell rückläufig während gleichzeitig der Verbrauch fossiler Energieträger (im SSP1-Szenario wesentlich stärker als im SSP3-Szenario) vom ökonomischen Wachstum entkoppelt wird.

Werden die einzelnen Materialkategorien im Detail betrachtet (siehe hierzu Abbildung 11), fällt auf, dass die pro Kopf Verbräuche von Erzen in beiden Projektionen bis 2030 andauernd rückläufig sind. Die pro Kopf Inanspruchnahme fossiler Energieträger stagniert in der SSP3-Projektion, reduziert sich hingegen aufgrund der klimapolitischen Annahmen bis 2030 um gut ein Viertel im Vergleich zu 2015 in der SSP1-Projektion.

Für den pro Kopf Konsum der Industrie- und Baumineralien (untere Grafik in Abbildung 11) wird hingegen im SSP3 Umfeld ein stärkerer Rückgang des deutschen pro Kopf Konsums (21,5% bis zum Jahr 2030) als im SSP1 Umfeld simuliert (Rückgang um 8,1% bis zum Jahr 2030). Diese Unterschiede sind auf die stärkere Inanspruchnahme von Baumaterialien infolge der höheren Investitionstätigkeit im SSP1-Szenario zurückzuführen.

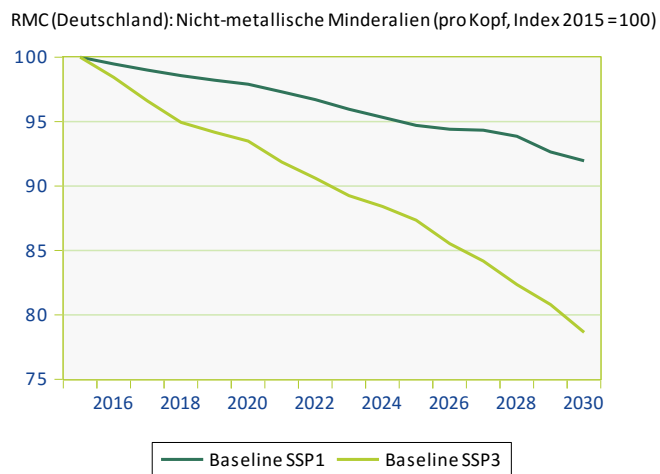
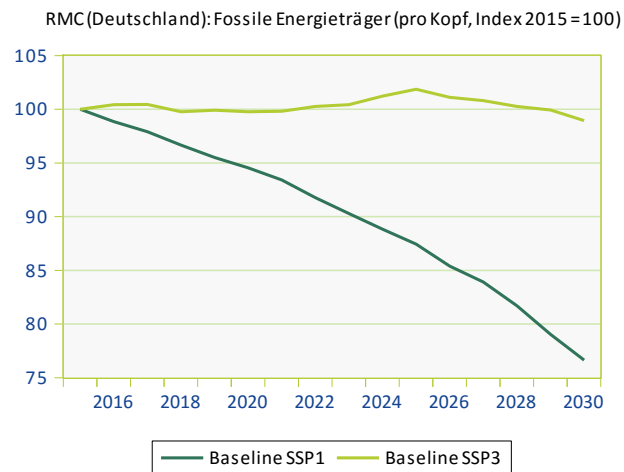
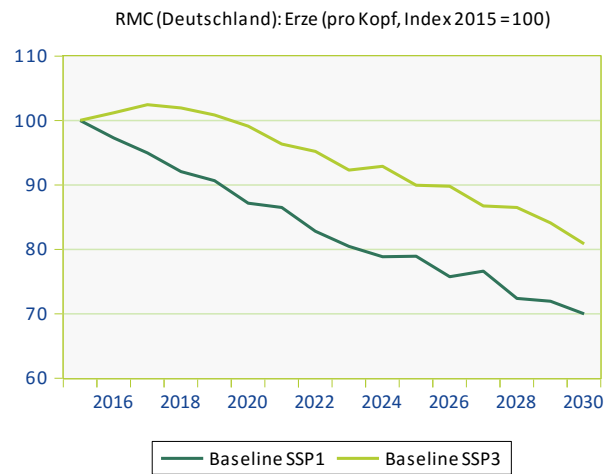


Abbildung 11: Detaillierte Betrachtung des deutschen abiotischen Materialverbrauchs in Rohmaterialäquivalenten  
Quelle: GINFORS

## 3. Ökonomische und ökologischen Effekte ausgewählter Handlungsansätze

### 3.1. Simulationsgrundlagen

Ansatzpunkt	Hintergrund	Instrument
Bewusstsein für Ressourceneffizienz schaffen	Informationsdefizite und Gewohnheiten	1) Selbstverpflichtung des Handels (Recyclingpapier) 2) Beratung von Unternehmen
Ressourceneffiziente Modernisierung befördern	Fehlende (Anreize in die) Entwicklung effizienter Technologien	3) Forschungs- und Innovationsförderung durch Zuschüsse 4) Öffentliche Beschaffung & Normen (Bau)
Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen	Ordnungsrecht	5) Kommunen – kompakte kommunale Infrastrukturen 6) Mobile Rücknahmesysteme
Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen	Internationale Rohstoff-extraktionen und Technologieexport	7) Umweltorientierte Ausgestaltung von Rohstoffpartnerschaften 8) Exportförderung für Produkte des Leitmarkts Rohstoff- und Materialeffizienz („Exportinitiative Ressourceneffizienz“)

Tabelle 2: Im Politikmix berücksichtigte Instrumente

Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse umfangreicher Wirkungsanalysen für ein PolitikszENARIO zusammen, welches das bisherige ressourcenpolitische Instrumentarium inkrementell weiter entwickelt. Anzumerken ist, dass bei der Entwicklung des modellierten Politikmixes jeweils nationale Politikmaßnahmen im Zentrum standen. Umfassende internationale Auswirkungen können daher nicht erwartet werden. Hierzu wären weitergehende Annahmen bezüglich der internationalen Diffusion der betrachteten Effekte notwendig, welche im Rahmen des PolRes Projekttes allerdings nicht im Fokus standen.<sup>15</sup> Die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse konzentrieren sich daher zunächst auf die Frage, welche gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen in Deutschland bei einer internationalen ressourcenpolitischen Vorreiterrolle zu erwarten sind (Abschnitt 3.2). Anschließend erfolgt eine Diskussion der ressourcenpolitischen Effekte in Abschnitt 3.3.

Eine Übersicht der im Politikmix zusammengefassten inkrementellen Maßnahmen kann Tabelle 2 entnommen werden. Weiterführende Details sind in (Meyer, Meyer, & Walter, 2015) beschrieben und sollen daher an dieser Stelle nicht noch einmal vollständig reproduziert werden. Stattdessen folgt hier lediglich eine allgemeine Übersicht der durch den Politikmix ausgelösten direkten Effekte.

<sup>15</sup> Für eine thematisch vergleichbare aktuelle europäische Simulationsstudie kann beispielsweise auf entsprechende Arbeiten des POLFREE-Projekts verwiesen werden (Meyer, Distelkamp, & Beringer, im Erscheinen).

Unter dem Ansatzpunkt „Bewusstsein für Ressourceneffizienz schaffen“ wurde einerseits eine Selbstverpflichtung des Handels implementiert, welche dazu führt, dass innerhalb eines gesamtwirtschaftlichen Umsetzungszeitraums von 10 Jahren die Absatzmengen von Papierprodukten aus Recyclingpapier verdoppelt werden. Zudem wird eine Ausweitung der Beratungsdienstleistungen für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des verarbeitenden Gewerbes simuliert, indem jährlich 2500 KMU aktiv auf die Möglichkeiten einer vertiefenden (durch die öffentliche Hand subventionierte) Effizienzberatung angesprochen werden. In den Simulationsrechnungen ist unterstellt, dass hierdurch grob die Hälfte (45%) der angesprochenen Unternehmen für eine weitergehende Beratung aktiviert werden kann. Insgesamt ist unterstellt, dass hierfür pro Jahr zusätzliche Beratungsleistungen in Höhe von 30 Mio. € benötigt werden, die mit 15 Mio. € aus öffentlichen Mitteln subventioniert werden. In der Folge der Beratung wird der Materialinput der Branchen um 80 Mio. € / Jahr reduziert. Anzumerken ist, dass im Vergleich zu der Potenzialstudie von (Distelkamp, Meyer, & Meyer, 2010) auf Basis dieser Annahmen insgesamt deutlich weniger Unternehmen erreicht werden.

Unter dem Ansatzpunkt „ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ wurden ebenfalls zwei Maßnahmen abgebildet. Einerseits eine erhebliche Ausweitung der F&E Förderung (+100 Mio. € über einen Zeitraum von 15 Jahren), wobei der Staat 50% der zusätzlichen Forschungskosten übernimmt. Um die im Rahmen dieser Forschungsaktivitäten entwickelten Technologien bundesweit einzusetzen, wären umfassende gesamtwirtschaftliche Investitionen erforderlich. Zu deren Abschätzung wird auf die gesamtwirtschaftliche r2-Potenzialstudie zurückgegriffen (Satorius & Walz, 2013). Davon ausgehend, dass die Investitionskosten der neu entwickelten Technologien in Relation zur ursprünglichen r2-Forschungsförderung der Cluster Keramikindustrie und innovative Baustoffe interpoliert werden können, nehmen wir an, dass sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionskosten für eine bundesweite Realisation in unserem Fall auf annähernd 39 Mrd. € in konstanten Preisen belaufen würden. Weitergehende Referenzen und Implementationsdetails können wiederum bei (Meyer, Meyer, & Walter, 2015) nachgelesen werden.

Unter dem Stichwort „Öffentliche Beschaffung & Normen“ wird zudem eine weitergehende Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung auf Maßnahmen zur Förderung der Ressourceneffizienz baulicher Einrichtungen simuliert. Grundidee ist die verpflichtende Berücksichtigung eines erweiterten Gütesiegels "Nachhaltiges Bauen" für öffentliche Bauaufträge, wodurch eine Verwendung von Recyclingbeton im gesamtwirtschaftlich maximal möglichen Rahmen erreicht werden soll.

Unter dem Ansatzpunkt „Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen“ wird einerseits davon ausgegangen, dass Kommunen verstärkt darauf hinarbeiten, Zersiedlungsprozesse zu reduzieren. Wie in (Werland, 2014) beschrieben, wird die Einführung von Bedarfsnachweisen für die Ausweisung von Siedlungs- und Gewerbegebieten in der kommunalen Planung unterstellt. Im Ergebnis weisen die Kommunen hierdurch weniger neue Flächen für Bau- und Industriegebiete aus, weshalb weniger Baustoffe für neue Infrastrukturen benötigt werden. Investitionen in den Infrastruktur-Bestand (Erhalt und Sanierung) ändern sich nicht. In der Modellierung wird als auslösender Impuls eine Reduktion der Investitionen für den Neubau von Gemeindestraßen um rund 0,85 Milliarden € p.a. im Vergleich zur Baseline unterstellt. Annahmegemäß wird hierdurch eine Reduktion des Materialaufwands für den Neubau von Gemeindestraßen um rund 6,3 Millionen t p.a. gegenüber der Baseline ausgelöst.

Außerdem wird unter diesem Ansatzpunkt die bundesweite Einführung und Unterhaltung von mobilen Rücknahmesystemen für Elektrogeräte durch die öffentliche Verwaltung simuliert. Es wird davon ausgegangen, dass durch die individuelle Entgegennahme der Altgeräte, welche mit einer Beratung zur

Reparatur verbunden ist, ein deutlicher Anstieg der bundesweiten Wiederverwendungsquoten erreicht werden kann. Hierzu sind einmalige Investitionen für LKWs in Höhe von 16 Millionen € und laufende Kosten in einer Größenordnung ca. 16 Millionen € p.a. notwendig. Der dadurch hervorgerufene ökonomische Effekt wird in den Simulationen durch eine Verdopplung der bundesweiten Umsätze für Reparaturen von Elektroaltgeräten abgebildet: Modelliert wird ein Nachfrageanstieg der privaten Haushalte nach „Einzelhandelsleistungen; Reparatur an Gebrauchsgütern“ um insgesamt 2 Milliarden €. Nähere Details und Hintergründe können wiederum bei (Meyer, Meyer, & Walter, 2015) nachgelesen werden.

Der Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ unterstellt schließlich, dass mit Instrumenten der Entwicklungszusammenarbeit, Rohstoffpartnerschaften und internationalen Vereinbarungen in rohstoffextrahierenden Ländern darauf hingewirkt wird, das im Bergbau und den ersten Verarbeitungsstufen die gleichen Umweltstandards wie in der EU eingehalten werden. Dadurch steigen die Weltmarktpreise für Metalle annahmegemäß um 2%. Weiterhin wird angenommen, dass durch Exportförderung ressourceneffizienter Technologien die globalen Handelsanteile für Güter und Dienstleistungen aus den Wirtschaftszweigen Chemie, Plastik, Metalle, Elektrische und optische Ausrüstungen sowie des Baugewerbes zunehmen.

## 3.2. Ökonomische Effekte

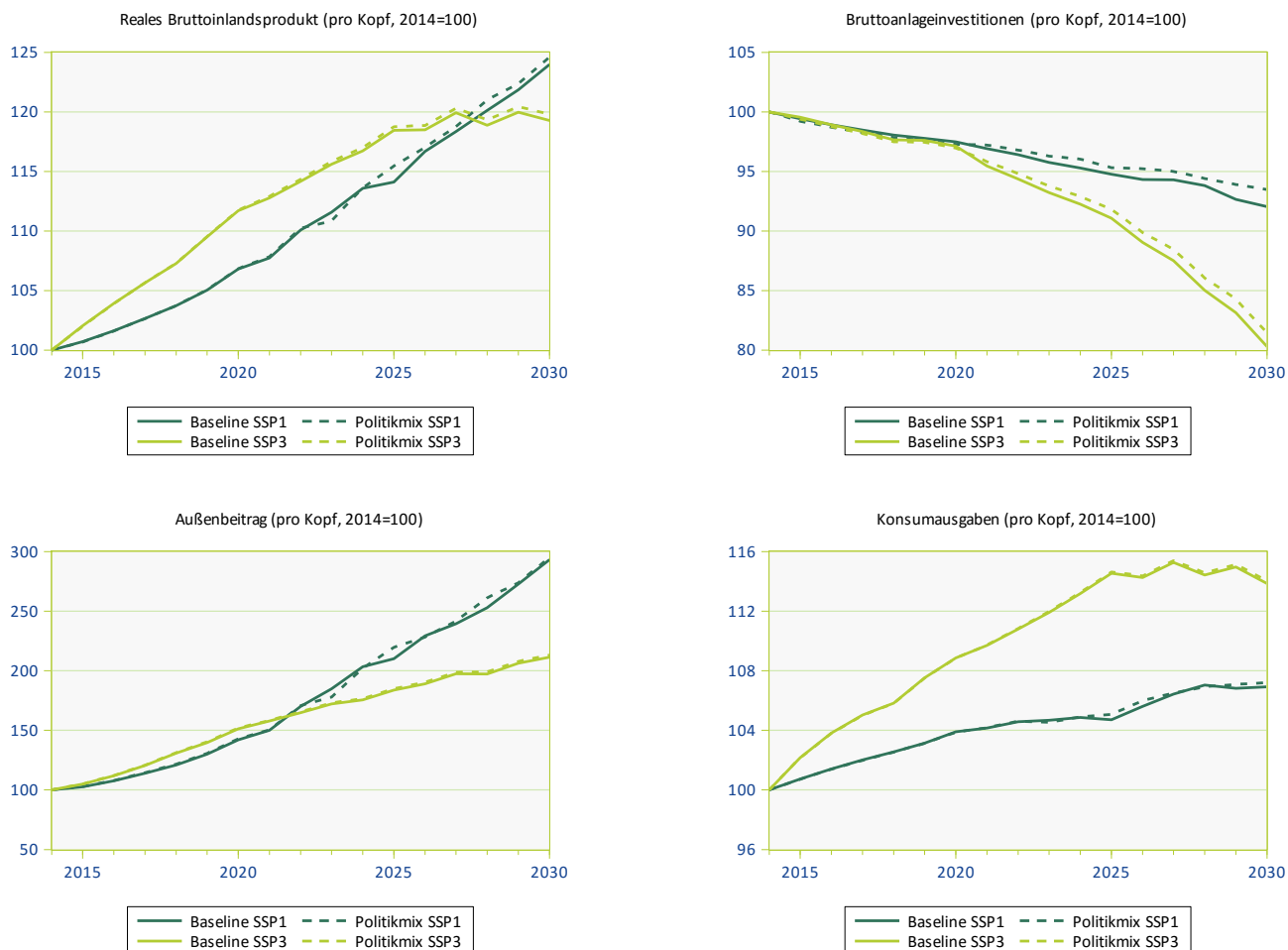
### 3.2.1. Überblick der makroökonomischen Auswirkungen

Eine einleitende Abschätzung der simulierten makroökonomischen Auswirkungen bei Umsetzung des Politikmixes kann auf Basis von Abbildung 12 vorgenommen werden. In Analogie zu Abbildung 8 wurden hier jährliche Zeitreihen des Bruttoinlandsprodukts sowie seiner verwendungsseitigen Komponenten im Zeitraum 2014 bis 2030 zusammengestellt, jeweils preisbereinigt und indiziert auf die entsprechenden Ausgangswerte des Jahres 2014 der einzelnen Simulationen. Die Baselineentwicklungen sind dabei jeweils als durchgezogene Linie abgebildet worden.

Da inkrementelle Maßnahmen modelliert wurden, sind in beiden Umfeldszenarien insgesamt lediglich geringe Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt zu beobachten (linke obere Grafik der Abbildung). Mittelfristig werden jeweils positive Abweichungen von den entsprechenden Referenzen simuliert. Die preisbereinigten pro Kopf Werte des Bruttoinlandsprodukts liegen daher im Jahr 2030 0,5%-Punkte (SSP3), bzw. 0,6%-Punkte (SSP1) oberhalb ihrer jeweiligen Baselinereferenz.

Die Entwicklung der Bruttoanlageinvestitionen induziert hierbei die relativ stärksten Wachstumsimpulse (rechte obere Grafik der Abbildung). Sowohl im SSP1- wie auch im SSP3-Kontext liegen die preisbereinigten Bruttoanlageinvestitionen im Jahr 2030 ca. 4,6 Mrd. € über ihren jeweiligen Referenzwerten. In der preisbereinigten pro Kopf Betrachtung lassen sich daher im Jahr 2030 Steigerungen im Vergleich zur Baseline in einer Größenordnung von 1,2%-Punkten (SSP3) bis 1,5%-Punkten beobachten.

## PolRes Umfeldszenarien: Makroökonomische Entwicklungen in Deutschland



**Abbildung 12: Simulationsergebnisse der makroökonomischen Auswirkungen in Deutschland, SSP1 und SSP3**

Quelle: GINFORS

Ähnlich positive Effekte zeigen sich bei der Betrachtung des realen Außenbeitrags (linke untere Grafik der Abbildung). Die entsprechenden pro Kopf Werte liegen im Jahr 2030 1,6%-Punkte (SSP3), bzw. 1,8%-Punkte oberhalb ihrer jeweiligen Referenz. Da sich diese allerdings in sämtlichen Simulationen jeweils sehr dynamisch entwickelt, resultiert hieraus nur ein sehr geringer relativer Wachstumsimpuls.

Die Auswirkungen auf die makroökonomische Konsumnachfrage sind ebenfalls positiv, im Vergleich zu den zuvor genannten Beobachtungen allerdings relativ gering. Im Jahr 2030 implizieren die in der rechten unteren Grafik abgebildeten Kurvenverläufe jeweils durch den simulierten Politikmix induzierte Steigerungen um 0,2%-Punkte (SSP3), bzw. 0,3%-Punkte (SSP1).

Bezüglich der ökonomischen Effekte der analysierten Politikoptionen lässt sich somit qualitativ festhalten, dass die modellierte inkrementelle Weiterentwicklung bisheriger Instrumente keine gesamtwirtschaftlichen Kosten zu induzieren scheint.

## PolRes Politikmix: Preisentwicklungen in Deutschland



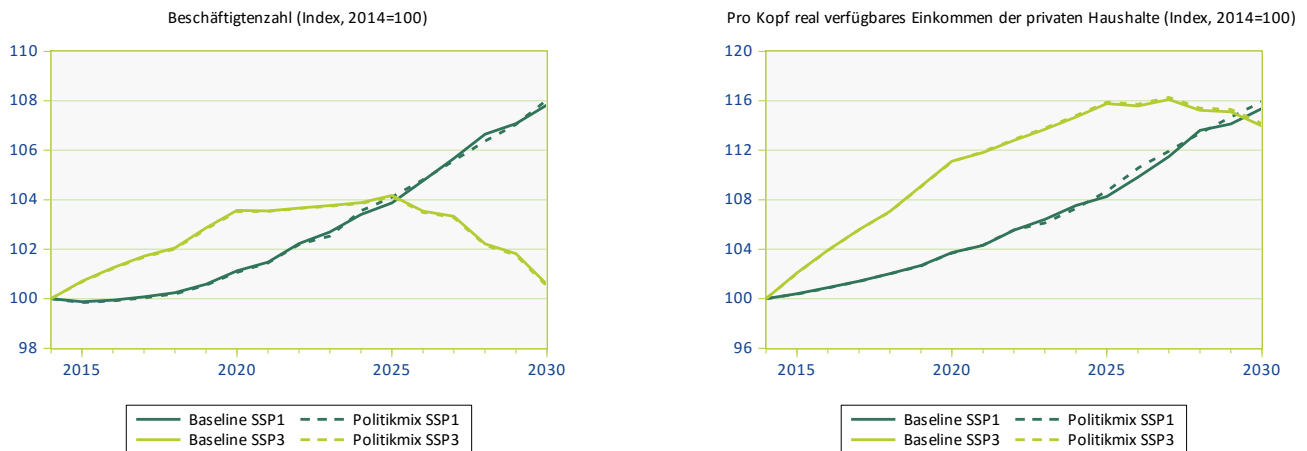
**Abbildung 13: Preisentwicklungen in Deutschland, SSP1 und SSP3**

Quelle: GINFORS

Die Betrachtung der in den jeweiligen Simulationen resultierenden Preiseffekte deutet darauf hin, dass die zuvor angesprochenen Steigerungen der Investitionstätigkeit durch eine leicht gedämpfte Dynamik der Investitionsgüterpreise stimuliert werden. Hierzu kann auf die linke obere Grafik der Abbildung 13 verwiesen werden, welche die Entwicklung des makroökonomischen Investitionsgüterpreisindex in Relation zum makroökonomischen Erzeugerpreisindex abbildet. Bei Modellierung des Politikmix bewegen sich im Jahr 2030 die Simulationsergebnisse für diese Relation 1,0%-Punkte (SSP1) bis 1,1%-Punkte (SSP3) unterhalb der jeweiligen Referenzgrößen.

Für die Erzeugerpreise (linke untere Grafik der Abbildung) wird dabei ebenfalls eine geringe Dämpfung der Preisdynamik simuliert. Für das Jahr 2030 können hier jeweils Abweichungen in einer Größenordnung von -0,3%-Punkten (SSP1) bis -0,6%-Punkten (SSP3) beobachtet werden. Im Vergleich zur Dynamik der entsprechenden Baselineprojektionen scheinen diese Abweichungen allerdings nicht gesamtwirtschaftlich signifikant zu sein.

PolRess Politikmix: Beschäftigung und Einkommen privater Haushalte in Deutschland



**Abbildung 14: Entwicklung von Beschäftigung und Einkommen der privaten Haushalte in Deutschland, SSP1 und SSP3**

Quelle: GINFORS

Ein qualitativ ähnlicher Befund zeigt sich bei Betrachtung der Entwicklung der Konsumgüterpreise (rechte untere Grafik der Abbildung). Auch in diesem Fall deuten die Simulationsergebnisse des Jahres 2030 für den Politikmix auf marginal geringere Preisentwicklungen hin (-0,1%-Punkte Abweichung von der SSP1-Baseline, -0,3%-Punkte Abweichung von der SSP3-Baseline). Diese Abweichungen erscheinen aber wiederum im Vergleich zur Dynamik der jeweiligen Baselineprojektionen nicht gesamtwirtschaftlich signifikant zu sein.

Bei Betrachtung der Lohnentwicklung zeigt sich, dass gesamtwirtschaftliche Produktivitätszuwächse jeweils leichte Anstiege der Reallöhne induzieren (rechte obere Grafik der Abbildung). In beiden Umfeldszenarien liegen die Reallöhne bei Simulation des Politikmixes im Jahr 2030 jeweils ca. 0,4%-Punkte über ihren entsprechenden Referenzwerten.

Der höhere Reallohn bewirkt in beiden Politiksimulationen eine im Vergleich zur Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts schwächere Arbeitsmarktdynamik. Wie der linken Grafik in Abbildung 14 entnommen werden kann, zeigen sich insgesamt kaum sichtbare Veränderungen der Beschäftigung. Im SSP1-Umfeld wird für den Politikmix im Jahr 2030 eine um 0,2%-Punkte gesteigerte Beschäftigtenzahl simuliert, während im SSP3-Umfeld ein geringer Rückgang in einer Größenordnung von annähernd 0,1%-Punkten zu beobachten ist. Zur groben Einordnung dieser Effekte sei nachrichtlich darauf hingewiesen, dass sich im Jahr 2014 die Anzahl der im Inland beschäftigten Erwerbstätigen auf etwas mehr als 42,6 Mio. Menschen belief (Statistisches Bundesamt, 2015).

Die Auswirkungen auf das real verfügbare Einkommen der privaten Haushalte sind bei steigendem Reallohn und annähernd stabiler Beschäftigung in beiden Umfeldszenarien eindeutig positiv. Im Jahr 2030 wird jeweils ein Anstieg im Vergleich zur korrespondierenden Baseline in einer Größenordnung von ca. 0,2%-Punkten (SSP3) bis 0,6%-Punkten (SSP1) simuliert.



## 3.2.2. Ergänzende sektorale Detailauswertungen

Auf den vorherigen Seiten konnte beobachtet werden, dass die simulierte inkrementelle Weiterentwicklung des bisherigen Politikansatzes keine makroökonomischen Kosten zu induzieren scheint. Gleichwohl würden auch bei diesen Maßnahmen verschiedene Wirtschaftszweige unterschiedlich stark in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung betroffen sein. Weitergehende sektorale Einsichten konnten aber auf Basis der bislang betrachteten makroökonomischen Darstellungen nicht gewonnen werden. Dieser Unterabschnitt ergänzt daher die vorherige Betrachtung der gesamtwirtschaftlichen Effekte um Einblicke in sektorale Entwicklungen einzelner Wirtschaftszweige.

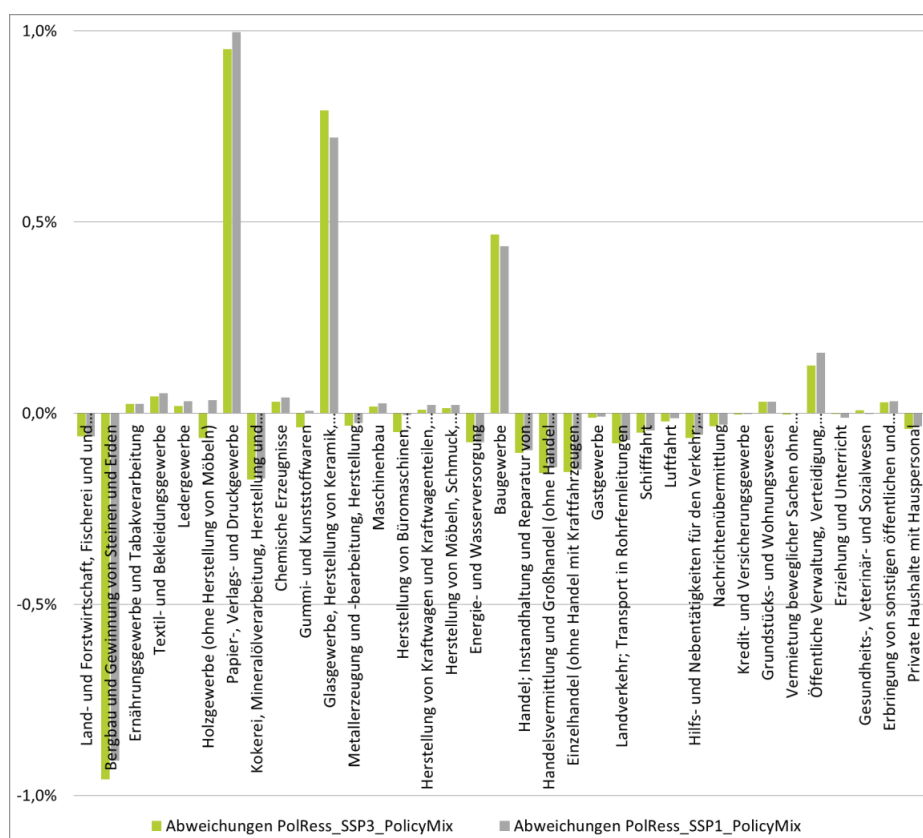


Abbildung 15: Politikmix: SSP1 & 3, Produktionswerte (real), durchschnittliche relative Abweichungen 2015-2030, Deutschland  
Quelle: GINFORS

Für die graphische Darstellung dieser Effekte wurden in Abbildung 15 für sämtliche Wirtschaftszweige die in den jeweiligen Simulationen des Politikmix pro Jahr durchschnittlich modellierten relativen Baselineabweichungen der preisbereinigten Produktionswerte zusammengestellt. Auf Basis dieser Abbildung lässt sich festhalten, dass durch eine Umsetzung des Politikmixes die Bruttoproduktionswerte sämtlicher Wirtschaftszweige lediglich geringfügig betroffen wären. Über sämtliche Wirtschaftszweige gemittelt ergibt sich in beiden Umfeldszenarien eine marginal positive Steigerung im Vergleich zur Baseline in einer Größenordnung von weniger als 0,1%. Die maximal beobachtbaren durchschnittlichen jährlichen Veränderungen der einzelnen Wirtschaftszweige verbleiben grundsätzlich in einem Intervall oberhalb von -1% und unterhalb von 1%. Zwischen den einzelnen Umfeldszenarien können dabei keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden.

Wirtschaftszweige mit relativ stärksten positiven Veränderungen bei Simulation des Politikmixes		Reale Bruttonproduktion (im Vergleich zur Baseline)	(im Vergleich zur Baseline)
Rang	Wirtschaftszweig	SSP1	SSP3
1	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	1,0%	1,0%
2	Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,8%	0,8%
3	Baugewerbe	0,5%	0,6%

**Tabelle 3: Durchschnittlich stärkste relative Steigerungen der Bruttonproduktionswerte**

Quelle: GINFORS

Die annähernd identischen relativen Auswirkungen in den einzelnen Umfeldszenarien bestätigt ein Blick auf Tabelle 3. In dieser Übersicht wurden für beide Umfeldszenarien die drei stärksten positiven Abweichungen aus Abbildung 15 zusammengestellt. Der resultierenden Tabelle kann entnommen werden, dass in beiden Simulationen jeweils die Sektoren „Papier-, Verlags- und Druckgewerbe“, „Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ sowie das Baugewerbe am deutlichsten von den simulierten Politikmaßnahmen profitieren. Die gerundet ausgewiesenen prozentualen durchschnittlichen Abweichungen variieren lediglich im Fall des Baugewerbes marginal zwischen den einzelnen Umfeldszenarien.

Der relative Effekt erweist sich beim Vergleich der einzelnen Wirtschaftszweige im „Papier-, Verlags- und Druckgewerbe“ als annähernd doppelt so hoch wie im Fall des Baugewerbes. Das „Papier-, Verlags- und Druckgewerbe“ profitiert hierbei von der Selbstverpflichtung des Handels, nach einem Umsetzungszeitraum von 10 Jahren nur noch Recyclingpapier anzubieten. Hieraus resultiert eine Erhöhung der Wertschöpfung im Inland, da Papier-(Vorleistungsinput)importe reduziert werden.

Die positiven Entwicklungen im Wirtschaftszweig „Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ sowie im Baugewerbe sind überwiegend auf die unter dem Ansatzpunkt „ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ simulierten Impulse zurückzuführen. Entsprechende Detailergebnisse werden später in Abschnitt 3.2.3 diskutiert.

Ergänzend bietet Tabelle 4 eine numerische Übersicht der drei deutlichsten negativen durchschnittlichen Entwicklungen. Hierbei kann eine individuelle Variation zwischen beiden Umfeldszenarien beobachtet werden: Während in der Übersicht der Ergebnisse in Anlehnung an die ökonomischen Vorgaben der SSP1-Projektionen der Einzelhandel mit (gerundet) -0,1% bereits an zweiter Stelle aufgeführt ist, findet sich dieser Wirtschaftszweig nicht in der entsprechenden Auswahl der SSP3-Ergebnisse wieder. Mit einer durchschnittlichen jährlichen Reduktion in einer Größenordnung von ca. 0,2% wird hier stattdessen der Wirtschaftszweig „Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen“ aufgeführt.

Wirtschaftszweige mit relativ stärksten negativen Veränderungen bei Simulation des Politikmixes		Reale Bruttonproduktion (im Vergleich zur Baseline)	
Rang	Wirtschaftszweig	SSP1	SSP3
1	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	-0,9%	-0,9%
2	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern (SSP1) / Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen (SSP3)	-0,1%	-0,2%
3	Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	-0,1%	-0,1%

**Tabelle 4: Durchschnittlich stärkste relative Reduktionen der Bruttonproduktionswerte**

Quelle: GINFORS

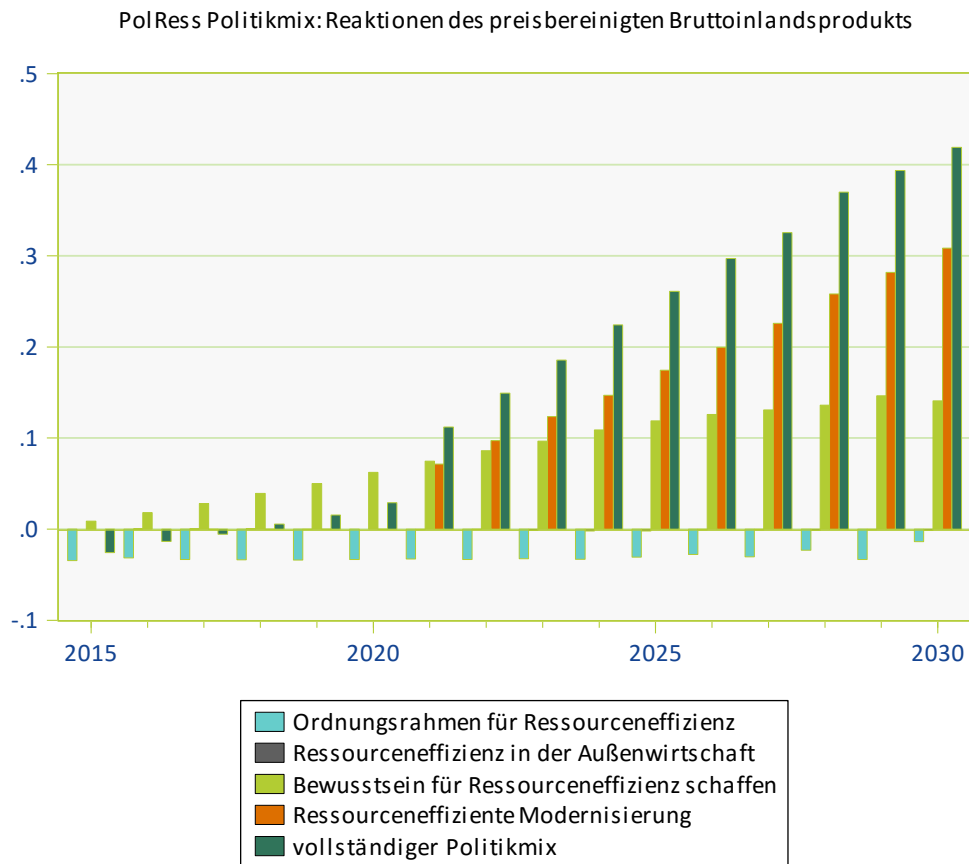
Da die hier ausgewiesenen durchschnittlichen relativen Abweichungen aber jeweils sehr gering sind, erscheint eine nähere Interpretation der hieraus resultierenden Rangfolge wenig zielführend.<sup>16</sup>

Der deutlichste Rückgang der wirtschaftlichen Aktivitäten im Vergleich zur Baselineprojektion wird in beiden Umfeldszenarien für den Sektor „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ beobachtet. Dieser Effekt ist zu gleichen Anteilen auf die Maßnahme einer Reduktion des Neubaus von Gemeindestraßen wie auch auf die „ressourceneffiziente Modernisierung“ zurückzuführen.

### 3.2.3. Individuelle Beiträge einzelner Ansatzpunkte

Die Darstellungen der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen diskutierten bislang jeweils lediglich den Fall einer vollständigen Umsetzung des betrachteten Politikmixes. An dieser Stelle sollen die bisherigen Befunde um Abschätzungen der individuellen Beiträge einzelner Ansatzpunkte des Politikmixes ergänzt werden. Hierzu sei zunächst auf Abbildung 16 hingewiesen, welche die Reaktionen des preisbereinigten deutschen Bruttoinlandsprodukts bei vollständiger Umsetzung des betrachteten Politikmixes sowie in vier zusätzlichen Teilsimulationen darstellt. In diesen Teilsimulationen wurde jeweils nur die Einführung der Instrumente eines ausgewählten Ansatzpunktes des Politikmixes simuliert (siehe Tabelle 2 für eine komprimierte Übersicht der jeweiligen Ansatzpunkte und ihrer zugehörigen Einzelinstrumente). Um eine möglichst übersichtliche Darstellung zu gewährleisten, werden in Abbildung 16 ausschließlich die Ergebnisse auf Basis der SSP3-Umfeldszenarien betrachtet. Abgebildet wurden die jeweils beobachteten jährlichen prozentualen Abweichungen von der Baseline.

<sup>16</sup> In einer erweiterten Übersicht wäre der Einzelhandel im SSP3-Umfeld auf Platz vier mit einer (im Vergleich zu den SSP1-Projektionen nahezu identischen) durchschnittlichen jährlichen Veränderung der Bruttonproduktion in einer Größenordnung von ca. -0,1% aufzuführen.

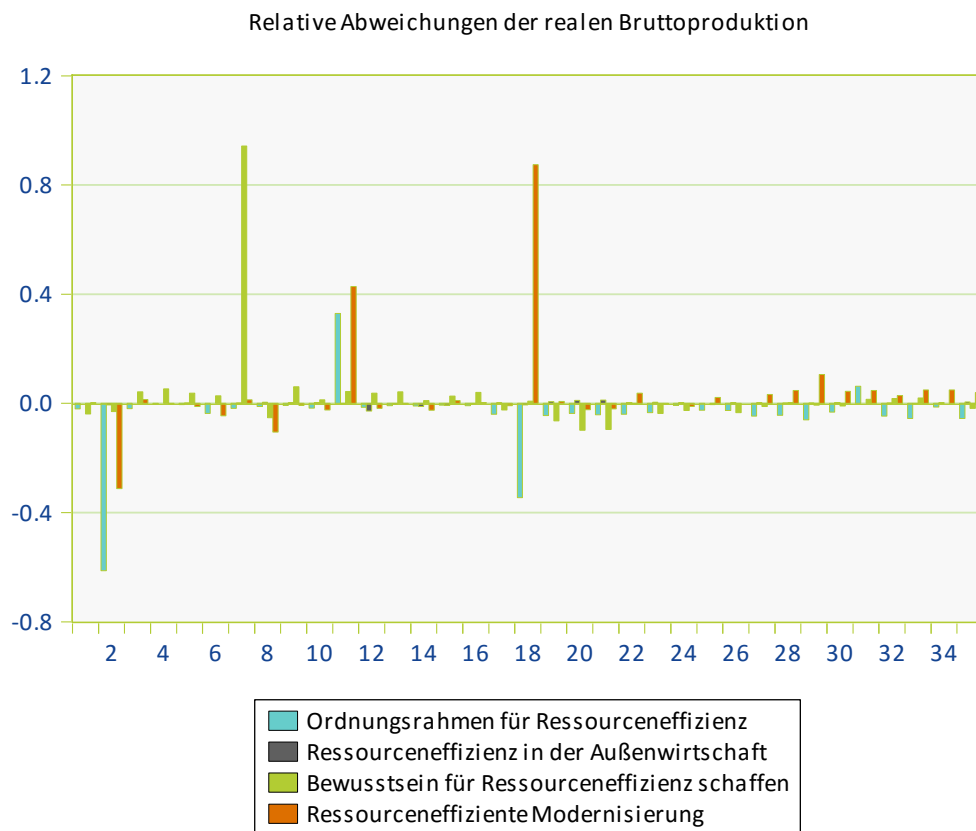


**Abbildung 16: Makroökonomische Effekte der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte (%-Abweichungen von der Baseline)**  
Quelle: GINFORS

Abbildung 16 zeigt erneut, dass die Simulation des vollständigen Politikmix mittel- bis langfristig durch (geringe) positive makroökonomische Wachstumsimpulse gekennzeichnet ist. Zudem wird sichtbar, dass dieser Effekt ganz überwiegend auf die unter dem Ansatzpunkt „Ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ modellierten Instrumente zurückzuführen ist.<sup>17</sup> Die Simulation des Ansatzpunktes „Bewusstsein für Ressourceneffizienz schaffen“ ist ebenfalls durch positive makroökonomische Impulse gekennzeichnet. Im Jahr 2030 wird in dieser Teilsimulation eine Steigerung des realen Bruttoinlandsprodukts um ca. 0,14% beobachtet.

Im Vergleich hierzu bleibt das reale Bruttoinlandsprodukt bei Simulation des Ansatzpunktes „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ nahezu unverändert. Leicht negative Effekte kennzeichnen zudem bei Modellierung des Ansatzpunktes „Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen“ (-0,01% in 2030).

<sup>17</sup> Weitergehende Analysen weisen darauf hin, dass diese positiven Wirkungen hauptsächlich auf das Instrument „Forschungs- und Innovationsförderung durch Zuschüsse“ zurückzuführen sind.



**Abbildung 17: Sektorale Effekte der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte (%-Abweichungen von der Baseline)**  
Quelle: GINFORS

Zur Abschätzung der jeweiligen sektoralen Auswirkungen der einzelnen Bausteine des Politikmix wurden in Abbildung 17 für sämtliche Wirtschaftszweige die durchschnittlichen jährlichen relativen Baselineabweichungen der preisbereinigten Produktionswerte zusammengestellt. Diese Darstellung korrespondiert somit zu Abbildung 15, wobei hier wiederum ausschließlich Modellrechnungen auf Basis der SSP3-Umfeldszenarien zusammengefasst wurden.

Wie zu erkennen ist, werden die deutlichsten positiven Abweichungen (ca. +1% im Jahresdurchschnitt) bei Modellierung der unter dem Ansatzpunkt „Bewusstsein für Ressourceneffizienz schaffen“ aufgeführten Instrumente beobachtet. Der entsprechende grüne Balken für Eintrag Nr. 7 kennzeichnet dabei die Entwicklungen im Papier-, Verlags- und Druckgewerbe, welches bereits bei Betrachtung des vollständigen Politikmixes in Abbildung 15 durch ähnlich positive Entwicklungen gekennzeichnet war. Auf Basis der hier betrachteten Ergebnisse kann hierzu nun bestätigt werden, dass diese Effekte nahezu ausschließlich bei

Umsetzung der unter dem Titel „Bewusstsein für Ressourceneffizienz schaffen“ zusammengefassten Maßnahmen freigesetzt werden.<sup>18</sup>

Der zweitstärkste relative Anstieg der Bruttonproduktion wird bei Simulation der Maßnahmen des Ansatzpunktes „Ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ im Baugewerbe beobachtet (oranger Balken bei Eintrag 18). Mit durchschnittlich annähernd +0,9% fällt dieser Effekt im Baugewerbe deutlich positiver als bei Simulation des vollständigen Politikmixes aus (vergleiche hierzu Tabelle 3). Im letztgenannten Fall wirken offenbar die Maßnahmen des Ansatzpunktes „Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen“ (türkiser Balken zu Eintrag 18) gleichzeitig kontraktiv auf die wirtschaftliche Entwicklung des Baugewerbes (-0,3% in der Einzelsimulation). Hierfür verantwortlich sind ganz überwiegend die in der Modellierung der kompakten kommunalen Infrastrukturen auftretenden Effekte.

Der Ansatzpunkt „Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen“ erweist sich in dieser Übersicht zudem als Verursacher der stärksten individuellen relativen Belastung. Seine alleinige Umsetzung würde, neben der soeben genannten Reduktion der Bruttonproduktion im Baugewerbe, gemäß dieser Modellrechnung einen Rückgang der Bruttonproduktion im Wirtschaftsbereich „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ in einer Größenordnung von durchschnittlich jährlich 0,6% induzieren (türkiser Balken zu Eintrag 2). In diesem Wirtschaftsbereich würden auch die Maßnahmen des Ansatzpunktes „Ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ deutlich negative durchschnittliche jährliche Effekte in einer Größenordnung von ca. -0,3% induzieren (oranger Balken bei Eintrag 2).

Deutlich positive Effekte werden unter dem Ansatzpunkt „Ordnungsrahmen für Ressourceneffizienz schaffen“ im Bereich „Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ simuliert (türkiser Balken bei Eintrag 11). Dieses Ergebnis muss allerdings mit Vorsicht interpretiert werden, da es in erster Linie auf Industrie-spezifischen Sondereffekten bei der Modellierung des Instruments „kompakte kommunale Infrastrukturen“ zu beruhen scheint.<sup>19</sup> Wesentlich eindeutiger erscheinen im Vergleich hierzu die für diesen Wirtschaftsbereich unter Ansatzpunkt „Ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ ausgewiesenen durchschnittlichen Steigerungen in einer Größenordnung in Höhe von ca. 0,45% (oranger Balken bei Eintrag 11). Diese beruhen ganz überwiegend auf den simulierten Kostensenkungen bei erfolgreicher Umsetzung des Instruments „Forschungs- und Innovationsförderung durch Zuschüsse“.

Im Vergleich zu den soeben angesprochenen Beobachtungen erscheinen die übrigen sektoralen Befunde wenig markant. Eine weitergehende Besprechung individueller sektoraler Effekte der einzelnen Ansatzpunkte unterbleibt daher an dieser Stelle. Ergänzend sei allerdings noch explizit darauf hingewiesen, dass unter dem Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ im Vergleich zu den übrigen Simulationsergebnissen kaum sichtbare Effekte ausgemacht werden können.

---

<sup>18</sup> Ergänzende Einzelfallanalysen weisen dabei darauf hin, dass dieser Effekt insbesondere auf das Instrument einer Selbstverpflichtung des Handels zur Erhöhung des Anteils von Recyclingpapier zurückzuführen ist.

<sup>19</sup> Im Kern werden an dieser Stelle Grenzen der Modellierung sichtbar: Für die hier diskutierten Simulationsergebnisse konnte in der Modellierung keine detaillierte Untergliederung einzelner Materialkategorien der Gütergruppe „Steine und Erden“ vorgenommen werden. Zudem erscheint die gegebene Klassifikation des Wirtschaftsbereichs „Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ relativ hoch aggregiert. Beide Effekte erschweren eine detaillierte Diskussion der Einzeleffekte des hier angesprochenen Instruments.

### 3.3. Ökologische Effekte

Die Modellergebnisse weisen darauf hin, dass die Umsetzung des simulierten Politikmixes einen dauerhaften Anstieg der Rohstoffproduktivität (bezogen auf den  $RMI_{abiot}$ ) sowie eine dauerhafte Reduktion des  $RMC_{abiot}$  initiieren würde. Insgesamt werden allerdings lediglich relativ moderate Effekte simuliert. Wie der oberen Grafik in Abbildung 18 entnommen werden kann, übersteigt die abiotische Rohstoffproduktivität im Jahr 2030 die jeweiligen Baselineprojektionen in beiden Umfeldszenarien um ca. 2,1 bis 2,2%-Punkte. In einer pro Kopf Betrachtung wird der  $RMC_{abiot}$  gleichzeitig um ca. 1,3%-Punkte im Vergleich zu beiden Baselineprojektionen reduziert (mittlere Grafik der Abbildung). In absoluten Niveaus implizieren diese Werte einen durchschnittlichen Rückgang des deutschen  $RMC_{abiot}$  im Zeitraum 2015 bis 2030 um ca. 6,8 bis 7,6 Mio. t pro Jahr im Vergleich zu den jeweiligen Baselineentwicklungen.

Bei Betrachtung der Entwicklung der  $CO_2$ -Emissionen (untere Grafik) sind allerdings keine signifikanten Auswirkungen des hier modellierten Politikmixes erkennbar.

Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 angemerkt wurde, basieren die soeben vorgestellten Abschätzungen der Auswirkungen auf die deutsche Materialanspruchnahme auf einer Indikatorberechnung in Anlehnung an die amtliche Berichterstattung. Hierzu muss angemerkt werden, dass entsprechende Kalkulationsroutinen üblicherweise nicht auf explizite MRIO-Modellierungen zurückgreifen können.

Folgende qualitative Vorteile des MRIO-Ansatzes bleiben damit tendenziell ungenutzt: “Multi-region input output (MRIO) models link together input-output tables of several countries or regions via bilateral trade flows. These models have a major advantage compared to single models, i.e., they trace not only domestic but global supply chains (Feng, Chapagain, Suh, Pfister, & Hubacek, 2011) and thus allow taking into account the different resource intensities in different countries (Tukker, et al., 2013).” (Lutter, Giljum, Hirschnitz-Garbers, Srebotnjak, & Gradmann, 2014, S. 20).

## Deutschland: Produktivitätsentwicklung, Materialverbrauch und CO2-Emissionen (Index, 2014=100)

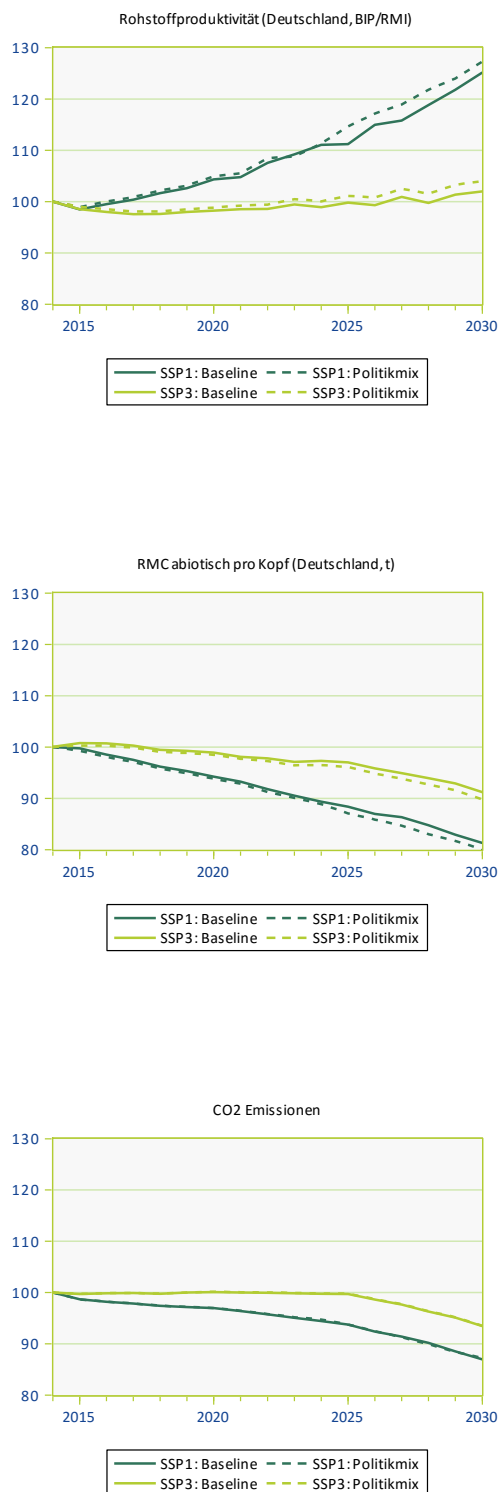


Abbildung 18: Abiotischer Materialverbrauch und abiotische Produktivitätsentwicklung in Deutschland  
 Quelle: GINFORS



Global genutzte abiotische Extraktionen: Durchschnittliche Veränderungen

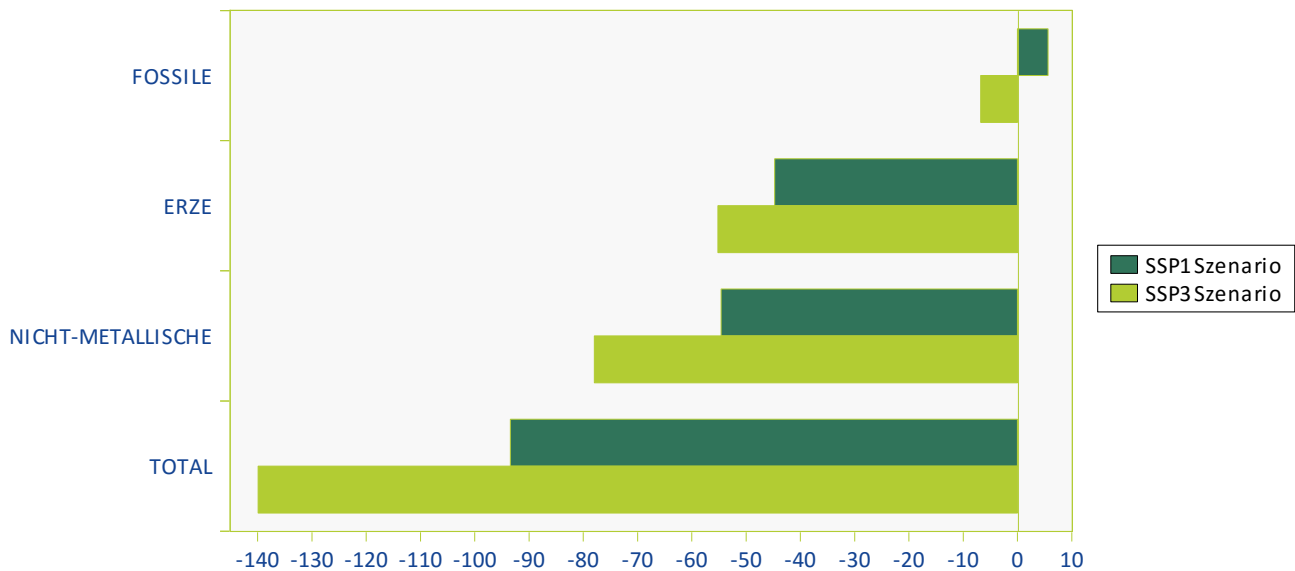


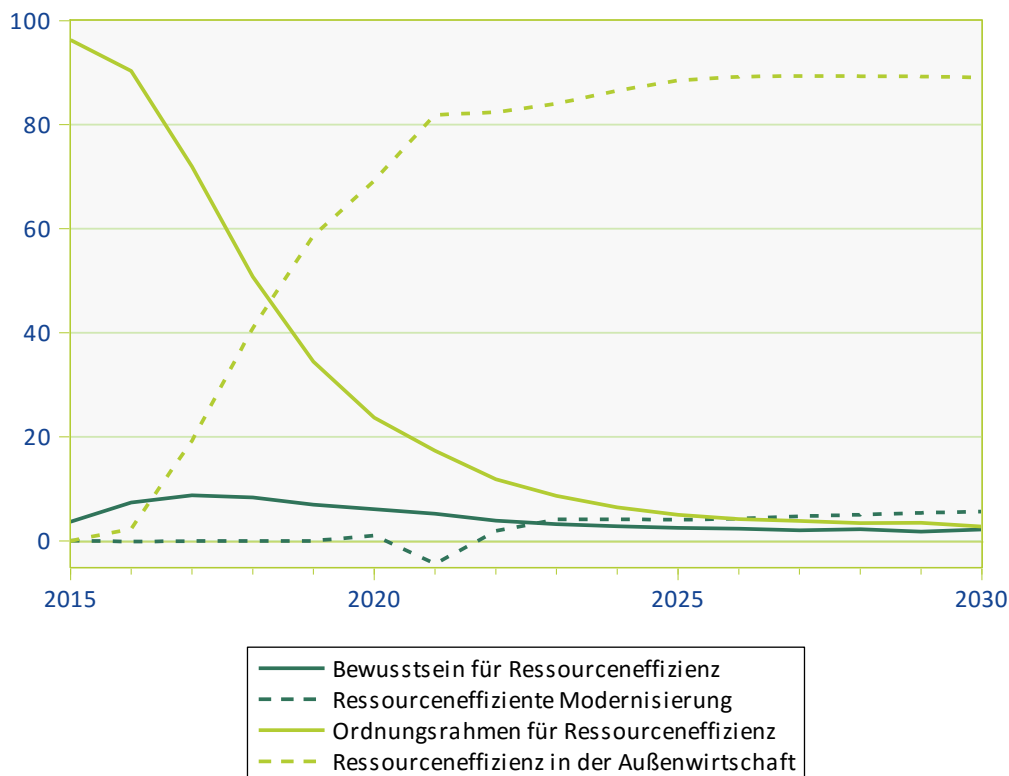
Abbildung 19: Globale Auswirkungen des Politikmix, durchschnittliche absolute Abweichungen von der Baseline p.a. (Mio. t.)  
Quelle: GINFORS

Vor diesem Hintergrund repräsentieren die GINFORS-Modellierungen auf Basis des WIOD-Datensatzes ein bemerkenswertes Potenzial zur Erweiterung des etablierten Berichtsumfangs.<sup>20</sup> Im UFOPLAN-Vorhaben „Modelle, Potenziale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz“ (SimRess, FKZ: 3712 93 102) werden derzeit (u.a.) entsprechende Entwicklungsarbeiten zur Differenzierung der Indikatorberechnung in GINFORS vorangetrieben. Da diese Forschungsarbeiten zum Abschluss des PolRess-Projekts noch andauern, verbleiben methodische sowie inhaltliche Diskussionen der entsprechenden Befunde für die SimRess-Berichterstattung.

Stattdessen sei an dieser Stelle lediglich exemplarisch vorgestellt, welche globalen Auswirkungen auf Basis der vorliegenden MRIO-Modellierung projiziert werden. Wie Abbildung 19 verdeutlicht, wird bei Simulation des vollständigen Politikmixes eine Reduktion der jährlich global genutzten abiotischen Rohstoffe in einer Größenordnung von ca. 90 Mio. t. bis 140 Mio. t. modelliert. Dieser Befund ist bemerkenswert, da somit im Vergleich zu den zuvor genannten absoluten Reduktionen des  $RMC_{abiot}$  in der globalen Betrachtung ein ungefähr 12- bis zwanzigfacher Rückgang der insgesamt global genutzten Extraktionen sichtbar wird.

<sup>20</sup> Zu Notwendigkeit und potenziellen Zielrichtungen entsprechender Entwicklungsarbeiten kann wiederum auf (Lutter, Giljum, Hirschnitz-Garbers, Srebotnjak, & Gradmann, 2014, S. 58) verwiesen werden. Auf Basis eines umfassenden methodischen Überblicks sowie ergänzender Experteninterviews wird dort (u.a.) auf folgenden Forschungsbedarf hingewiesen: „Focus should be on joining forces and cooperating as much as possible in order to [...] develop a very limited number of sophisticated calculation models for RMEs [...]. The most promising approach would be a hybrid model that combines detailed RME coefficients for imported raw materials with a multi-regional input-output approach with a high level of detail in the relevant sectors. Rather than statistical institutions, which have a limited mandate on the international level, it might be advisable that research or other public institutions promote and further develop hybrid approaches.“

Global genutzte Extraktionen: Reduktionsbeiträge der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte



**Abbildung 20: Individuelle Beiträge der im Politikmix berücksichtigten Ansatzpunkte zur Reduktion der globalen Rohstoffinanspruchnahme (% Anteile an den Gesamteffekten im SSP3-Umfeld)**

Quelle: GINFORS

Damit verdeutlicht dieses Ergebnis, dass erst die vollständige Erfassung international unterschiedlicher Rohstoffintensitäten eine umfassende Begutachtung der globalen Auswirkungen alternativer Politikmaßnahmen ermöglicht. Abbildung 20 kann dabei entnommen werden, dass die vollständige Modellierung der globalen Auswirkungen insbesondere für den Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ ein hohes Potenzial zur Reduktion der globalen Rohstoffinanspruchnahme erkennen lässt. Hierzu wurden für sämtliche bereits im Abschnitt 3.2.3 betrachtete Einzelsimulationen Zeitreihen absoluter Abweichungen der global genutzten Extraktionen vom Baselineverlauf berechnet. Werden diese in Relation zu den Abweichungen bei Modellierung des vollständigen Politikmixes abgebildet, ergibt sich der grafische Befund der Abbildung 20.

Wie sich zeigt, sind bereits wenige Jahre nach Einführung des Politikmixes die global beobachteten Materialeinsparungen überwiegend auf die simulierten Annahmen des Ansatzpunktes „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ zurückzuführen. Langfristig erscheinen die individuellen Effekte der übrigen simulierten Instrumente im Vergleich hierzu relativ vernachlässigbar: Allein durch die Umsetzung der für den Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“ unterstellten Maßnahmen werden nahezu 90% der bei Modellierung des vollständigen Politikmixes insgesamt beobachteten globalen Extraktionsreduktionen erzielt.

Global genutzte abiotische Extraktionen: Durchschnittliche Veränderungen

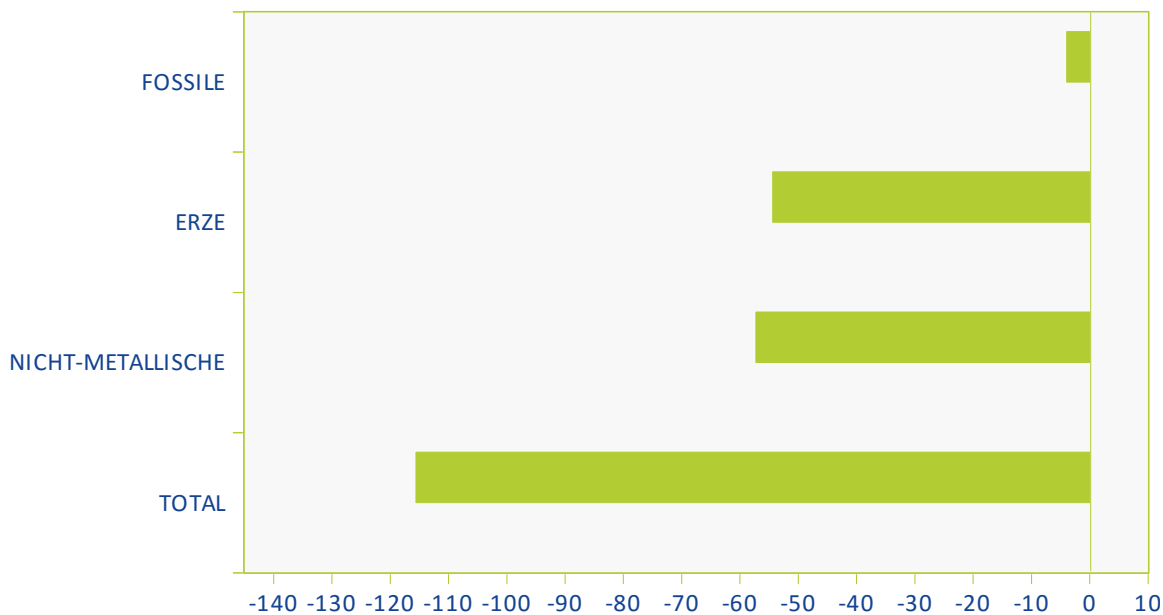


Abbildung 21: Ansatzpunkt „Ressourceneffizienz in der Außenwirtschaft umsetzen“, durchschnittliche absolute Abweichungen von der Baseline im SSP3-Umfeld p.a. (Mio. t.)

Quelle: GINFORS

Dieser Befund ist eindeutig auf die Tatsache zurückzuführen, dass lediglich unter diesem Ansatzpunkt des Politimix auch globale Zusammenhänge weiterentwickelt werden. Eine weitergehende Prüfung zeigt dabei, dass die abgebildeten Wirkungen dieses Ansatzpunktes beinahe ausschließlich auf der Annahme beruhen, dass international die gleichen Umweltstandards wie in der EU eingehalten werden. Da diese Annahme durch einen Anstieg der Weltmarktpreise für Metalle um 2% im Vergleich zur Referenzentwicklung modelliert wird, zeigen sich bei der Simulation dieses Instruments nicht nur in Deutschland beobachtbare Effekte. Vielmehr wird die globale Nachfrage, nach Erzen wie auch nach nicht-metallischen Mineralien generell gesenkt (vgl. hierzu auch Abbildung 21). Der Rückgang der nicht-metallischen Mineralien ist dabei auf begleitende Extraktionsrückgänge in der Gruppe der Industriemineralien zurückzuführen.

## 4. Zusammenfassung

Für die ökonomischen Wirkungsanalysen des PolRess-Projekts wurde das globale Simulationsmodell GINFORS in Anlehnung an sozio-ökonomische Rahmendaten zweier ausgewählter SSP-Szenarien kalibriert. Diese Arbeiten können als vorläufiger Schritt in Richtung einer Integration klimapolitischer Szenarien in ressourcenpolitischen Umfeldszenarien interpretiert werden. Nachdem diese Dimension der Umweltpolitik von den SSP-Modellier-Teams bislang nicht explizit betrachtet wurde, lassen unsere Ergebnisse einen deutlichen Forschungsbedarf zur weitergehenden Integration beider Säulen der globalen Umweltpolitik sichtbar werden. Wünschenswert wäre es hierbei, die klimapolitischen Annahmen mit konkreten ressourcenspezifischen Szenarioannahmen abzustimmen.

Die zur Kalibrierung verwendeten ökonomischen Parametrisierungsvorgaben wurden von der OECD mit dem OECD ENV Growth Model berechnet. Das ENV Growth Model ist ein neoklassisches Wachstumsmodell, in welchem die weltwirtschaftliche Entwicklung allein durch die angebotsseitige Entwicklung in den Ländern determiniert wird. Die Nachfrageentwicklung in den einzelnen Ländern und der internationale Handel, der die Länder verknüpft, bleiben unberücksichtigt, weil sie unter neoklassischen Voraussetzungen (Optimierung auf perfekten Märkten, Say's Law) ja von der Angebotsseite determiniert werden. GINFORS basiert dagegen auf der Annahme, dass die Akteure unter Bedingungen beschränkter Rationalität auf unvollkommenen Märkten agieren und dass Say's Law nicht gegeben ist. Unter diesen Voraussetzungen ist die gesamtwirtschaftliche Nachfrage nicht durch das gesamtwirtschaftliche Angebot determiniert.

Wenn also die Ergebnisse des Modells GINFORS auf die des OECD ENV Growth Models kalibriert werden sollen, dann ist dies im Kern die Aufgabe, die von GINFORS generierte Nachfrageentwicklung auf die vorgegebene Angebotsentwicklung anzupassen. Vor Hintergrund der Erfahrungen mit den PolRess-Parametrisierungsarbeiten kann diese Vorgehensweise durchaus kritisch hinterfragt werden: Das in beiden Szenarien im Vergleich zum globalen Durchschnitt sehr hohe Wirtschaftswachstum in den Entwicklungsländern ist sicherlich wünschenswert, aber doch hypothetisch. In SSP3 sind die Zuwachsraten des realen BIP pro Kopf in den Entwicklungsländern mehr als doppelt so hoch wie im globalen Durchschnitt. In SSP1 erreicht diese Relation fast das Doppelte des globalen Durchschnitts, obwohl der Durchschnitt wiederum mehr als doppelt so hoch ist wie im Szenario SSP3. Sicherlich werden einzelne Länder den Weg finden, den China oder Indien bereits eingeschlagen haben, aber ob dies für den Durchschnitt der Entwicklungsländer schon in den nächsten Jahrzehnten gilt, mag bezweifelt werden. Unkalibrierte eigenständige GINFORS-Projektionen lassen die globalen Wachstumsannahmen im SSP1-Fall tendenziell jedenfalls als sehr optimistisch erscheinen und deuten weder im SSP1- noch im SSP3-Fall auf eine solch starke Konvergenz der internationalen materiellen Wohlstandsniveaus hin.

Letztlich konnten die internationalen Konvergenzannahmen der SSP-Szenarien nur durch weitreichende Eingriffe in die Modellstrukturen nachgebildet werden: In beiden Baselineimplementierungen gehen steigende deutsche Exportüberschüsse einher mit der Verlagerung der Produktion von Vorleistungsgütern ins Ausland, die dann wieder von Deutschland importiert werden. Die Fertigungstiefe der Produktion in Deutschland fällt, Investitionen deutscher Firmen finden zunehmend im Ausland statt. Vor Hintergrund der globalen ökonomischen Entwicklungen in den vergangenen Jahrzehnten ist es sicherlich gerechtfertigt, die Auswirkungen deutscher Politikmaßnahmen in einem solchen Umfeld zu analysieren. Wir weisen aber darauf hin, dass grundsätzlich auch alternative qualitative Entwicklungen für die Zukunft denkbar erscheinen, diese aber auf Grundlage der hier ausgewählten SSP-Wachstumsprojektionen nicht abgebildet werden konnten. Da wir von der Vorgehensweise einer Erstellung mehrerer Referenzszenarien grundsätzlich überzeugt sind, ist zu wünschen, dass für zukünftige ressourcenpolitische Wirkungsabschätzungen auch weitere, die Abbildung des strategischen Handlungsraums ergänzende qualitative Umfeldszenarien parametrisiert werden.

Selbstverständlich können mit dem Modell GINFORS auch eigenständige Referenzentwicklungen für die globale wirtschaftliche Entwicklung und die mit ihr verbundene Ressourcennutzung berechnet werden. Dieser Weg wurde in PolRess nicht verfolgt, da der damit verbundene Arbeitsaufwand im Vergleich zur hier gewählten Kalibrierung wesentlich umfangreicher ist. Entsprechende weiterführende Arbeiten werden derzeit allerdings im UFOPLAN-Vorhaben „Modelle, Potenziale und Langfristszenarien für

Ressourceneffizienz“ (SimRess, FKZ: 3712 93 102) vorangetrieben. Das von der Europäischen Union unter Grant Agreement No 308371 geförderte Forschungsprojekt POLFREE hat ebenfalls eigenständige Umfeldszenarien entwickelt, welche inzwischen in GINFORS implementiert wurden. Für die im Rahmen dieses Papiers diskutierten Politiksimulationen konnte auf diese Vorarbeiten allerdings noch nicht zurückgegriffen werden.

Die Ergebnisinterpretation beschränkte sich in unserer Darstellung stets auf einen Zeitraum bis zum Jahr 2030. Ein Grund für diese inhaltliche Beschränkung ist in der Nicht-Betrachtung planetarer Grenzen gegeben. Die ressourcen-spezifischen Ergebnisse spiegeln so stets „business-as-usual“ Projektionen im Kontext alternativer sozio-ökonomischer Wachstumsdynamiken. Angesichts der ausdauernd positiven Wachstumsraten in den modellierten Szenarien kann allerdings hinterfragt werden, ob die damit einhergehende Rohstoffansprache mittel- bis langfristig ausschließlich ohne explizite Modellierung des Rohstoffangebots projiziert werden kann. Auch dieser Forschungsfrage wird derzeit im SimRess-Projekt durch einen Abgleich von eigenständigen GINFORS-Projektionen der internationalen Nachfrageentwicklung bis zum Jahr 2050 mit Modellierungen des globalen Rohstoffangebots unter Anwendung des WORLD-Modells (Sverdrup, Ragnarsdottir, & Koca, 2015) weiter nachgegangen.

Zudem beschränkten sich die Simulationen überwiegend (mit Ausnahme des Ansatzpunktes 4) auf eine Betrachtung einer internationalen Vorreiterrolle Deutschlands. Welche umweltökonomischen Effekte erzielt werden könnten, wenn wichtige Handelspartner – etwa im Rahmen der G7 – ressourcenpolitisch mit eingebunden würden, war nicht Analysegegenstand. Für eine Simulation bis zum Jahr 2030 mag dies noch eine akzeptable Arbeitshypothese sein, weitergehende Modellierungen bedürften hier aber sicherlich einer konkreteren Ausformulierung des internationalen Kontextes.

In dem soeben beschriebenen Analyserahmen loten unsere Modellsimulationen das Wirkungspotenzial alternativer Politikansätze aus. Die Ergebnisse deuten an, dass die vom PolRess-Konsortium vorgeschlagenen inkrementelle Weiterentwicklungen des bislang etablierten ressourcenpolitischen Instrumentariums ohne signifikante gesamtwirtschaftliche Kosten umgesetzt werden könnten. Insbesondere die gesamtwirtschaftlichen Investitionstätigkeiten werden durch die in den Modellierungen berücksichtigten Annahmen andauernd gesteigert. Insgesamt zeigten sich dabei bei Simulation des Ansatzpunktes „ressourceneffiziente Modernisierung befördern“ die deutlichsten positiven ökonomischen Auswirkungen. Insbesondere das Instrument der Forschungs- und Innovationsförderung erscheint auf Basis dieser Modellrechnungen als ökonomisch positive Politikoption. Bemerkenswert ist dabei, dass die Wirtschaftszweige „Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ sowie das Baugewerbe in diesen Simulationen als deutliche Gewinner des Strukturwandels ausgewiesen werden.

Allerdings zeigt sich auch eindeutig, dass wesentlich umfassendere Politikmaßnahmen notwendig wären, um derzeit diskutierte ressourcenpolitische Zielsetzungen zu erreichen: In der bezüglich der deutschen Indikatorentwicklungen optimistischen SSP1-Projektion wird bis zum Jahr 2030 ein Anstieg der abiotischen Rohstoffproduktivität um ca. 25% im Vergleich zu heutigen Niveaus simuliert. Für den  $RMC_{abiot}$  wird über denselben Zeitraum eine Reduktion um ungefähr 20% berechnet. Der simulierte Politikmix kann jeweils lediglich marginale Verbesserungen induzieren.

Aus umfassender Perspektive kann festgehalten werden, dass sämtliche global erzielbaren Materialeinsparungen durchaus bemerkenswert sind: Der globale abiotische Materialverbrauch wird bei Umsetzung des Politikmixes in Deutschland im Zeitraum 2015 bis 2030 in einer Größenordnung von durchschnittlich ca. 90 bis 140 Mio. t pro Jahr reduziert. Im Vergleich zu den entsprechenden Baselineprojektionen zeigt sich aber auch wiederum eindeutig, dass wesentlich umfassendere Politikmaßnahmen mittelfristig notwendig erscheinen.

Die umfassendsten Impulse zur Reduktion der globalen Materialinanspruchnahme wurden dabei durch international wirksame Effekte gesetzt. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass sich die deutsche Politik nicht allein mit einer isolierten internationalen Vorreiterrolle zufriedengeben, sondern stattdessen nachhaltig internationale Initiativen zur Reduktion der Rohstoffinanspruchnahme fördern sollte. Wie sich am Beispiel der Simulation eines Anstiegs der Weltmarktpreise für Erze zeigte, können die hiermit einhergehenden direkten Kosten gesamtwirtschaftlich durchaus kompensiert werden.

## 5. Quellenverzeichnis

- Bringezu, S., & Schütz, H. (2014). *Indikatoren und Ziele zur Steigerung der Ressourcenproduktivität*. Arbeitspapier 1.4. im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRes). [www.ressourcenpolitik.de](http://www.ressourcenpolitik.de).
- Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C., & Wiebe, K. (2012). Materials embodied in international trade - Global material extraction and consumption between 1995 and 2005. *Global Environmental Change*, 22(3), S. 568-576.
- Chateau, J., & Dellink, R. (2012). *Long-term economic growth and environmental pressure: Reference scenarios for future global projections*. OECD Environment Directorate, Environment Policy Committee: ENV/EPOC/WPCID (2012)6.
- Distelkamp, M., Meyer, B., & Meyer, M. (2010). *Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie*. Abschlussbericht zu AS5.2 und AS5.3 des Arbeitspakets 5 des Projekts "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (MaRes). Ressourceneffizienz Paper 5.5. Wuppertal.
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., & Polzin, C. (2012). *Green economies around the world? Implications of resource use for development and the environment*. Vienna.
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., & Polzin, C. (2013). *Update of national and international resource use indicators*. Texte 08/2013. Dessau-Roßlau: Federal Environment Agency (Germany).
- Ekins, P., Meyer, B., Schmidt-Bleek, F., & Schneider, F. (2014). Reducing resource consumption - A proposal for global resource and environmental policy. In M. Angrick, A. Burger, & H. Lehmann, *Factor X: Policy, strategies and instruments for a sustainable resource use* (S. 249-273). Dordrecht: Springer.
- European Commission. (2014). *Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption*. Technical report 2014-2478.
- European Commission. (2011). *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. European Commission document: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 8.3.2011, COM(2011) 112 final.
- Feng, K., Chapagain, A., Suh, S., Pfister, S., & Hubacek, K. (2011). Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations. *Economic Systems Research*, 23, S. 371-385.
- IEA. (2012). *Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System*. Paris.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10), S. 2696-2705.

- Kriegler, E., O'Neill, B., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R., Moss, R., et al. (2012). The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 22(4), S. 807-822.
- Lutter, S., Giljum, S., Hirschnitz-Garbers, M., Srebotnjak, T., & Gradmann, A. (2014). *Further development of material and raw material input indicators - methodological discussion and approaches for consistent data sets*. Input paper for expert workshop. Report for a research project funded under the German Federal Environment Agency's UFOPLAN programme. (FKZ: 3713 93 150).
- Meyer, B., Distelkamp, M., & Beringer, T. (im Erscheinen). *D3.7a: Report about integrated scenario interpretation. GINFORS / LPJmL results*.
- Meyer, B., Meyer, M., & Distelkamp, M. (2014). *Macroeconomic routes to 2050*. CECILIA2050 WP3 Deliverable 3.3. Osnabrück: Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS).
- Meyer, M., Meyer, B., & Walter, H. (2015). *Dokumentation des Analyserahmens: Modellstruktur, Baselineannahmen und Implementation der Maßnahmen*. Arbeitspapier 3.3 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess). [www.ressourcenpolitik.de](http://www.ressourcenpolitik.de).
- O'Neill, B., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K., Hallegatte, S., Carter, T., et al. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), S. 387-400.
- Satorius, C., & Walz, R. (2013). *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen des potenziellen Produktivitätsanstiegs der Fördermaßnahme r2*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Sinn, H.-W. (2005). Basar-Ökonomie Deutschland: Exportweltmeister oder Schlusslicht? *ifo Schnelldienst*, 58(6), S. 3-42.
- Statistisches Bundesamt (a). (2014). *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: Indikatorenbericht 2014*. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (b). (2014). *Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Teil 4: Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall*. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt. (2015). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Inlandsproduktsberechnung - Detaillierte Jahresergebnisse 2014*. Fachserie 18, Reihe 1.4. Wiesbaden.
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., & Eisenmenger, N. (2010). Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis. *Ecological Economics*, 69(5), S. 1148-1158.
- Sverdrup, H. U., Ragnarsdottir, K. V., & Koca, D. (July 2015). An assessment of metal supply sustainability as an input to policy: security of supply extraction rates, stocks-in-use, recycling, and risk of scarcity. *Journal of Cleaner Production*.



- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta-Fernández, J., et al. (2013). EXIOPOL : development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research*, 25, S. 50-70.
- van Vuuren, D., Riahi, K., Moss, R., Edmonds, J., Thomson, A., Nakicenovic, N., et al. (2012). A proposal for a new scenario framework to support research and assessment in different climate research communities. *Global Environmental Change*, 22(1), S. 21-35.
- Werland, S. (2014). *Handlungspotenziale und Gestaltungsmöglichkeiten der Kommunen*. Kurzanalyse 7 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess). [www.ressourcenpolitik.de](http://www.ressourcenpolitik.de).
- Wiebe, K. S., Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C., & Polzin, C. (2012). Carbon and Materials Embodied in the International Trade of Emerging Economies: A Multiregional Input-Output Assessment of Trends Between 1995 and 2005. *Journal of Industrial Ecology*, 16(4), S. 636-646.