

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen (FKZ) 3707 41 108
UBA-FB 001323

Die Rolle von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz in globalen Energieszenarien

Zusammenfassung

von

Wolfram Krewitt † (Coordination), Kristina Nienhaus
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Stuttgart

Corinna Kleßmann, Carolin Capone, Eva Stricker
Ecofys Germany GmbH, Berlin

Wina Graus, Monique Hoogwijk
Ecofys Netherlands BV, Utrecht

Nikolaus Supersberger, Uta von Winterfeld, Sascha Samadi
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3768 verfügbar. Hier finden Sie auch den vollständigen Band Climate Change 18/2009 (auf Englisch) und eine englische Zusammenfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Email: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.2 Energiestrategien und Szenarien
Ulrike Wachsmann
Kai Lipsius

Dessau-Roßlau, Dezember 2009

Die Rolle von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz in globalen Energieszenarien

Die Analyse globaler Energieszenarien zeigt, dass für die Einhaltung globaler CO₂-Emissionsreduktionsziele die Ausnutzung der Potenziale der Energieeffizienz sowie der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien jeweils eine Schlüsselrolle spielen. Szenarien, die eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration auf einem Niveau von maximal 450 ppm CO₂-Äquivalenten anstreben, erreichen im Jahr 2030 einen Anteil erneuerbarer Energien zur Deckung des Primärenergiebedarfs zwischen 31% (Greenpeace/EREC, Energy [R]evolution) und 23% (IEA World Energy Outlook 2008, 450 Policy Scenario). Für das Jahr 2050 wird erwartet, dass der Beitrag erneuerbarer Energien auf 56% (Greenpeace/EREC, Energy [R]evolution) bzw. 35% (IEA Energy Technology Perspectives, BLUE Map) des Primärenergieeinsatzes gesteigert werden kann.

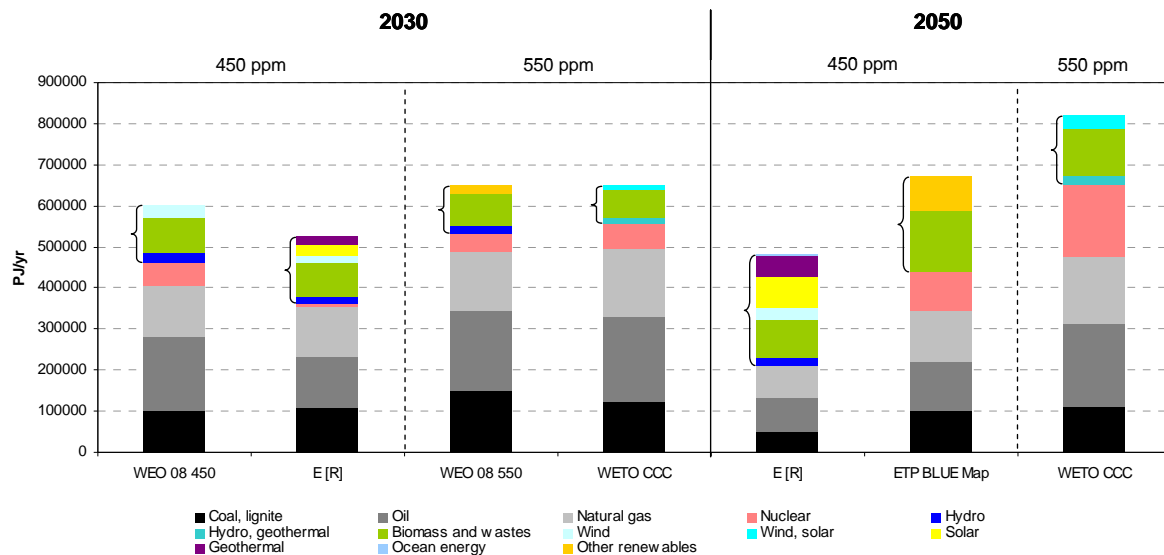


Abbildung 1: Beitrag erneuerbarer Energien zur Deckung des Primärenergiebedarfs in verschiedenen Szenarien

Die unterschiedlichen Einschätzungen des Beitrags erneuerbarer Energien sind unter anderem auf Differenzen in den Annahmen bezüglich des Potenzials von Effizienzsteigerungen zurückzuführen. So ermöglicht die deutlichere Reduktion der Energienachfrage im Greenpeace/EREC Energy [R]evolution Szenario einen im Vergleich zu anderen Szenarien höheren Anteil von erneuerbaren Energien am Primärenergieeinsatz. In den Szenarien der IEA spielen außerdem Kernenergie und fossile Energieträger in Verbindung mit CCS (Carbon Capture and Storage) eine bedeutende Rolle zur Erreichung der Klimaschutzziele. Allerdings führt insbesondere der Einsatz von CCS in den Szenarien der IEA zu hohen CO₂-Vermeidungskosten, da ein wirtschaftlicher Einsatz von CCS vor 2030 nicht erwartet wird. Es bleibt unklar,

welchen Beschränkungen die breite Markteinführung kostengünstiger Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in den IEA Szenarien unterliegt.

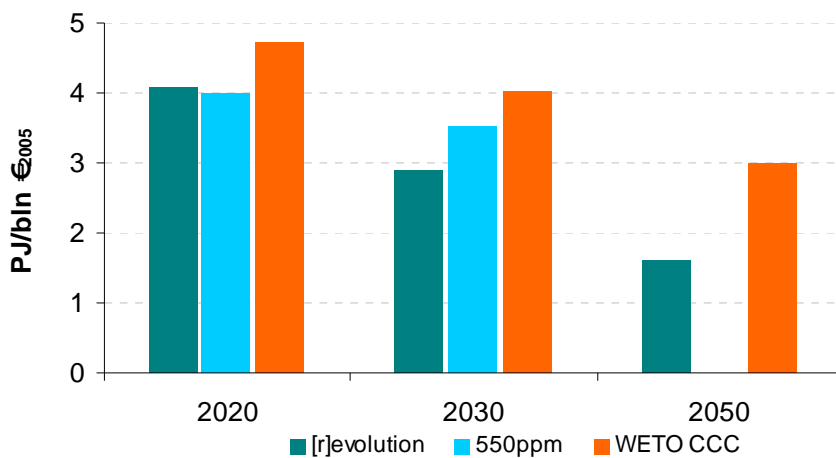


Abbildung 2: Entwicklung der globalen Energieintensität in verschiedenen Szenarien

Während die betrachteten Szenarien detaillierte Informationen zu einzelnen technischen und ökonomischen Fragestellungen geben, ist ein grundsätzliches Defizit in Hinblick auf eine nachvollziehbare und transparente Darstellung zentraler technologischer und ökonomischer Grundannahmen vorhanden. Vergleiche zwischen den Szenarien werden dadurch erschwert. Insbesondere Daten zum Wärmesektor bleiben weitgehend unvollständig. Angesichts der Bedeutung des Wärmesektors bezüglich Energiebedarf und CO₂-Emissionen ist diese zweitrangige Behandlung nicht angemessen. In künftigen Szenarioanalysen sollte eine umfassendere und transparentere Dokumentation grundlegender Annahmen und ihrer Grenzen angestrebt werden.

Globale Potenziale erneuerbarer Energien

Das weltweit größte technische Potenzial zur Stromerzeugung besitzen solare Technologien wie konzentrierende solarthermische Kraftwerke (Concentrating Solar Thermal Power Plants, CSP) und Photovoltaik (PV). Es folgen onshore Windenergie und Meeresenergie. Das technische Potenzial für die thermische Verwendung von solarer und geothermischer Energie übertrifft um ein Vielfaches den weltweiten Niedertemperatur-Wärmebedarf.

In Afrika ist das Potenzial zur Stromerzeugung von CSP und PV besonders groß. Das technische Potenzial der Windenergie (onshore) ist besonders hoch in Nordamerika, während Lateinamerika über ein ergiebiges Biomassepotenzial verfügt. Schließlich lässt sich feststellen, dass der heutige weltweite Endenergiebedarf (338.5 EJ/Jahr laut IEA Energiestatistiken für das Jahr 2006) weniger als 5% des projizierten technischen Potenzials zur Nutzung erneuerbarer Energien beträgt.

Tabelle 1: Regionales technisches Potenzial erneuerbarer Energien 2050

	Technical Potential EJ/yr electric power							EJ/yr heat		EJ/yr primary	
	Solar PV	Solar CSP	Wind Onshore	Wind Offshore	Hydro power	Ocean	Geo-thermal	Geo-thermal	Solar	Biomass energy crops	Biomass Residues
Africa	717.1	4348.3	27.7	1.6	6.8	18.0	4.1	212.3	10.3	0.0	13.8
Middle East	127.2	1153.0	4.9	0.5	1.0	7.6	0.7	37.7	1.8	0.0	1.1
OECD Pacific	225.3	1513.0	53.5	3.4	1.2	29.7	4.2	68.7	2.8	3.2	6.2
Rest of Asia	136.5	9.2	8.5	10.0	6.5	149.7	5.8	109.6	21.1	0.0	8.0
Latin America	118.2	298.8	36.2	10.6	9.0	44.0	4.7	158.7	21.1	47.0	12.6
Trans. Economies	116.0	203.8	65.2	9.4	4.8	0.1	5.6	136.7	5.8	19.0	5.3
North America	84.0	347.2	159.2	6.9	6.0	45.7	6.4	148.0	23.8	19.0	17.6
OECD Europe	33.2	4.1	18.5	12.8	7.4	25.0	1.8	51.3	23.3	8.4	7.5
China	97.8	59.8	4.0	1.5	5.4	7.4	4.6	87.2	17.4	0.0	7.7
India	33.5	106.3	1.4	0.8	1.9	4.1	1.6	29.9	6.0	0.0	7.8
World	1688.8	8043.5	379.0	57.0	50.0	331.2	44.8	1040.0	123.0	96.5	87.6

Kosten der Nutzung von erneuerbaren Technologien

Die Kosten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen werden in den zentralen Studien auch in der langfristigen Betrachtung relativ übereinstimmend eingeschätzt. Für Technologien wie PV und Wind unterscheiden sich die Kostenprojektionen nur sehr geringfügig. Die Differenzen sind größer bei Technologien, die sich noch in einem frühen Stadium ihrer Entwicklung befinden, und für die daher noch keine anerkannte Leittechnologie verfügbar ist (z.B. Wellenenergie). Es treten aber zum Teil deutliche Unterschiede in der Einschätzung zukünftiger Kosten auf, wenn standortspezifische Bedingungen die Investitionskosten stark beeinflussen (z.B. Wasserkraftwerke, Geothermie).

Für den Großteil der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien gilt, dass sich die in der IEA-Studie "Energy Technology Perspectives" aufgezeigten Kosten tendenziell eher im unteren Bereich der geschätzten Kostenentwicklungen befinden, obwohl der Anteil der Erneuerbaren in den IEA-Szenarien meist kleiner ist als in den anderen Szenarien. Die Kostenannahmen des Greenpeace/EREC Szenarios, eines ausgewiesenen "Erneuerbaren-Szenarios", liegen eher über den Schätzungen der IEA.

Es wird erwartet, dass in den nächsten zwanzig Jahren für fast alle Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien (mit Ausnahme der Wasserkraft) eine deutliche Reduzierung der Stromerzeugungskosten realisiert werden kann. Unter Annahme steigender Kosten für fossile Energieträger und für CO₂-Emissionen ist zu erwarten, dass bis 2030 die meisten Technologien zur Erzeugung regenerativen Stroms wettbewerbsfähig sein werden.

Daten zur Kostenentwicklung von Technologien zur erneuerbaren Wärme- und Kältegewinnung werden in den untersuchten Studien nur unvollständig ausgewiesen. So weit vorhanden, stimmen sie - unter Berücksichtigung der Unsicherheiten infolge von Unterschieden in Kraftwerksgrößen und Arten der Anwendung – für Solarkollektoren und Biomasse-Wärmeanlagen weitgehend überein. Deutliche Unterschiede bestehen allerdings in den Annahmen zu Kosten für Wärmepumpen, die oberflächennahe Erdwärme nutzen.

Tabelle 2: Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

			~ 2010		2020 – 2030		~ 2050	
			range	'indicative estimate'	range	'indicative estimate'	range	'indicative estimate'
Photovoltaics	Invest. costs	€/kW	2800 - 4420	3000	1000 - 1530	1050	860 - 900	880
	O&M costs	€/(kW.a)		30		10		9
Concentrating solar thermal power plants	Invest. costs	€/kW	3600 - 5050	5050	3300 - 3700	3500	2770 - 3440	3400
	O&M costs	€/(kW.a)		200		140		135
Wind								
- wind onshore	Invest. costs	€/kW	970 - 1100	1050	850 - 900	880	800 - 900	870
	O&M costs	€/(kW.a)		40		35		30
- wind offshore	Invest. costs	€/kW	1800 - 3000	2770	1100 - 1800	1700	1000 - 1500	1400
	O&M costs	€/(kW.a)		120		75		40
Biomass								
- biomass power plant	Invest. costs	€/kW	2000 - 2600	2200	1500 - 2300	2000	1400 - 2300	1900
	O&M costs	€/(kW.a)		130		120		110
- biomass CHP	Invest. costs	€/kW	1750 - 4600	3900	1650 - 3100	2600	1600 - 2400	2000
	O&M costs	€/(kW.a)						
Geothermal (EGS)								
Geothermal (EGS)	Invest. costs	€/kW	4000 - 15000	12000	3200 - 8050	6350	2400 - 8000	5050
	O&M costs	€/(kW.a)		450		235		190

			~ 2010		2020 – 2030		~ 2050	
			range	'indicative estimate'	range	'indicative estimate'	range	'indicative estimate'
Hydro								
-large hydro	Invest. costs	€/kW	800 - 4400	2000	800 - 4350	2200	800 - 4100	2500
	O&M costs	€/(kW.a)		80		90		95
-small hydro	Invest. costs	€/kW	2000 - 5600	3500	1800 - 5200	4000	1600 - 4800	4000
	O&M costs	€/(kW.a)		180		200		200
Ocean energy								
- tidal barrage	Invest. costs	€/kW	1600 - 3200	2400	1400 - 2800	2100	1200 - 2400	1800
	O&M costs	€/(kW.a)		95		85		70
- tidal current	Invest. costs	€/kW	5600 - 8000	6800	4000 - 6400	5200	2800 - 4800	3800
	O&M costs	€/(kW.a)		270		210		150
- wave	Invest. costs	€/kW	3000 - 12000	7000	1500 - 4000	2000	1200 - 3200	1300
	O&M costs	€/(kW.a)		280		80		50

Tabelle 3: Investitionskostenentwicklung von Technologien zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien

		2005		2020 – 2030		~ 2050	
		range	'indicative estimate'	Range	'indicative estimate'	range	'indicative estimate'
Solar collectors							
- small scale systems	€/kW	240 – 800	630		250		230
- large scale systems (for heating networks)	€/kW	240 - 800	300		220		190
Geothermal							
- deep geothermal	€/kW	50 - 720	500	55 – 600	500		500
- shallow geothermal/heat pump	€/kW	500 - 1500	1300	170 – 1220	1100		1050
Biomass							
- small-scale heating system	€/kW	380 - 1800	790		700		650
- heating plant	€/kW		650		480		450

Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz

Für den Fall einer "Business as usual"-Entwicklung wird erwartet, dass die weltweite Nachfrage nach Endenergie um 95% von 290 EJ im Jahr 2005 auf 570 EJ im Jahr 2050 steigt. Sollte in der gleichen Periode das vorhandene Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz genutzt werden, ließe sich die Zunahme auf 8% begrenzen. Der weltweite Bedarf an Endenergie könnte so auf jährlich 317 EJ im Jahr 2050 reduziert werden.

Der jährliche Primärenergieeinsatz kann bei der Implementierung von Maßnahmen zur Verbesserung der angebots- und nachfrageseitigen Energieeffizienz auf 392 EJ im Jahr 2050 reduziert werden. Das sind 10% weniger als der Primärenergieeinsatz des Jahres 2005 (440 EJ) und 55% weniger als für den Fall einer „Business as usual“-Entwicklung für das Jahr 2050 angenommen wird.

Tabelle 4: Technisches Potenzial jährlicher Effizienzsteigerungen nach Sektoren für den Zeitraum 2010-2050

Region	Buildings and agriculture	Industry	Transport	Total energy demand sectors	Transformation sector
OECD Europe	2.6%	2.2%	2.9%	2.2%	1.1%
OECD North America	2.5%	2.3%	3.0%	2.6%	0.9%
OECD Pacific	2.0%	2.2%	2.8%	2.5%	1.0%
Transition economies	2.0%	2.3%	2.8%	2.2%	2.3%
China	2.0%	2.6%	2.4%	2.4%	1.5%
India	2.2%	2.6%	2.4%	2.4%	1.6%
Rest of developing Asia	2.0%	2.4%	2.6%	2.3%	0.9%
Middle East	2.2%	2.8%	2.9%	2.6%	1.9%
Latin America	2.2%	2.5%	2.9%	2.5%	1.7%
Africa	1.8%	2.3%	2.8%	2.1%	1.7%
World	2.2%	2.4%	2.8%	2.4%	1.4%

Kosten und Hemmnisse zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen

Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz werden nur in wenigen Studien behandelt. Analysen, die Kosten für eine Verminderung von CO₂-Emissionen im Bereich von Energieeffizienz berechnen, zeigen dabei große Differenzen auf.

Kostenabschätzungen für Energieeffizienzmaßnahmen hängen stark von den Annahmen zu fossilen Energieträgerpreisen ab. Sie können in Folge höherer Brennstoffkosten das Vorzeichen wechseln und negativ werden. Daneben beeinflussen die zugrunde gelegte Diskontierung sowie inkrementelle Investitionskosten von Effizienzmaßnahmen und erwartete Einsparungen an Ausgaben für Brennstoffe die Höhe der erwarteten Kosten signifikant. Weitere Forschungsanstrengungen zur Abschätzung globaler und regionaler Kosten der Durchführung von Effizienzmaßnahmen sind also erforderlich.

Für die Implementierung des in dieser Studie analysierten technischen Potenzials zur Steigerung der Energieeffizienz wird erwartet, dass die Höhe der Kosten 2050 jährlich ca. 0,5% des weltweiten Bruttoinlandsproduktes (der weltweiten Wirtschaftsleistung) betragen wird.

Es besteht ein großes Potenzial an kostendeckenden Effizienzmaßnahmen. Als solche wurden ca. 55% bis 60% der insgesamt betrachteten Effizienzmaßnahmen identifiziert. Eine erfolgreiche Markteinführung kann allerdings durch Marktversagen und andere Hemmnisse verhindert werden. Hierzu gehören beispielsweise unzureichende und falsche Informationen, Hürden im Kapitalmarkt, niedrige Energiekosten und eine geringe Preiselastizität. Maßnahmen, die auf eine Beseitigung der Marktschranken zielen, sind insofern für eine Förderung der Energieeffizienzsteigerung sehr wichtig.

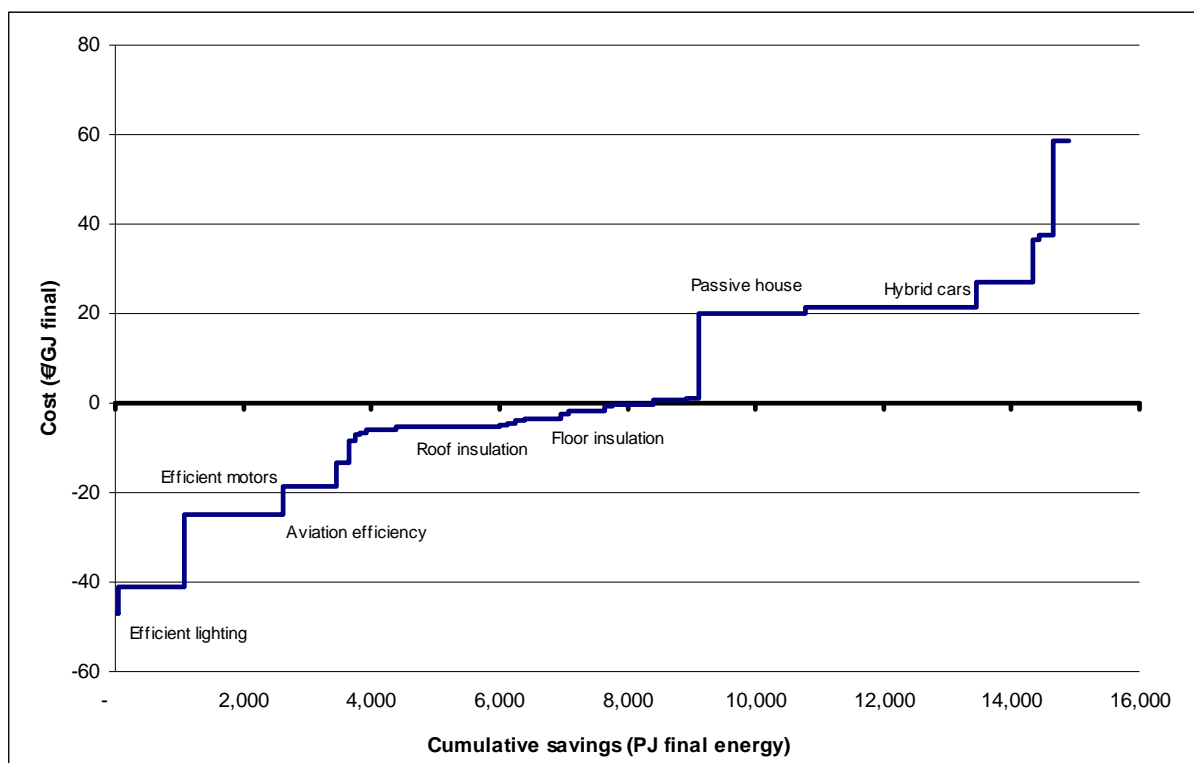


Abbildung 3: Kostenkurve für Energieeinsparungen in OECD Europa

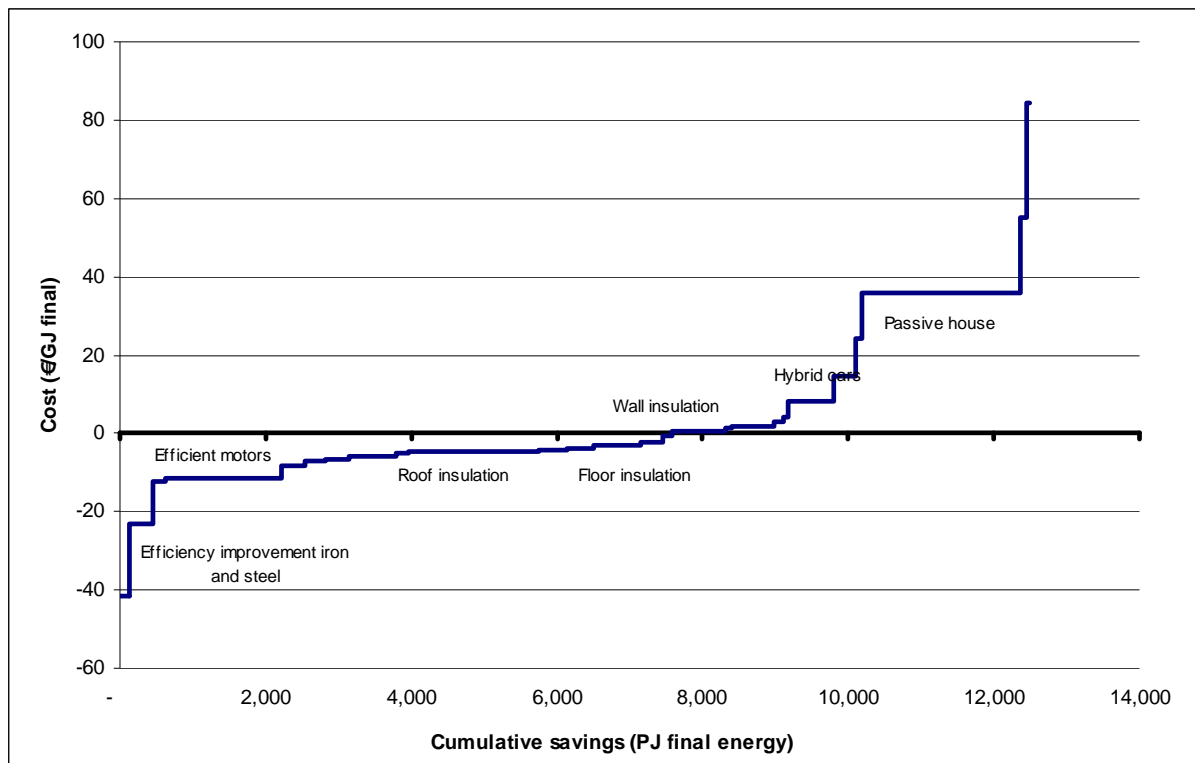


Abbildung 4: Kostenkurve für Energieeinsparungen in China

Energieverbrauch und Verhaltensänderungen

Die Ergebnisse unserer Analyse zeigen, dass Verhaltensdimensionen in Energieszenarien nur unzureichend abgebildet werden. In einigen Szenarien werden diese Dimensionen vollständig vernachlässigt. Andere deuten an, dass explizite Verhaltensänderungen eine Rolle spielen, erheben explizites Verhalten allerdings nicht zu einem leitenden Prinzip der Modellierung. Zwei Erklärungen sind dafür möglich: 1) expliziten Verhaltensänderungen (von Individuen und Gruppen) wird keine Rolle für zukünftige Energiesysteme zugedacht und 2) explizites Verhalten wird als zu komplex erachtet, um in Energieszenarien modelliert werden zu können.

Die Frage muss diskutiert werden, ob Verhaltensdimensionen überhaupt explizit in die bestehende Szenarioarchitektur und -logik integriert werden können, oder ob die Strukturen der Szenarien geändert werden müssen. Es ist noch offen, in welchem Umfang explizite Verhaltensdimensionen tatsächlich quantifiziert werden können bzw. zu welchem Maß sie ein Parameter bleiben, der lediglich qualitativ analysiert werden kann.

Die aufgezeigten Fragestellungen für die Forschung lassen sich also in zwei Gruppen klassifizieren: In die Integration von Verhaltensänderungen in bestehende Szenariostrukturen sowie in die Entwicklung unterschiedlicher Ansätze von Szenarien, um Verhaltensänderungen als bedeutenden Parameter fokussieren zu können.

Als erste Annäherung für die Berücksichtigung von Teilaspekten von Verhaltensänderungen in der Szenariomodellierung sollten folgende Aspekte im Mittelpunkt stehen: Bezugnahmen auf einzelne Akteure, die Integration sozialer und kultureller Beziehungen (Kontext der „Lebenswelt“) sowie eine deutlichere Reflexion der unterschiedlichen normativen Orientierungen der verschiedenen Szenarien und Entwicklung von Hilfsmitteln zum methodischen Umgang mit Normen.

In offenere und transparentere Szenariostrukturen, die detaillierte Anpassungen von Annahmen erlauben, könnten Verhaltensänderungen besser integriert werden. Hierfür können typische Bottom-up-Modelle verwendet werden: Sie ermöglichen es, unterschiedliche Annahmen für verschiedene Sektoren und Technologien festzulegen. Dies wiederum ermöglicht eine hohe Transparenz der Modellierung bzw. der Modellergebnisse.

Resumé

Die Ergebnisse dieses Berichtes unterstreichen, dass weltweit beachtliche, bisher nicht ausgeschöpfte Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz vorhanden sind. Zusammen mit dem bisher nur unvollständig berücksichtigten Potenzial von Verhaltensänderungen zur Reduzierung des Energiebedarfs werden vielfältige Möglichkeiten aufgezeigt, um künftige CO₂-Emissionen des Energiesektors deutlich reduzieren zu können. Zur Ausschöpfung dieser Potenziale ist eine Weiterentwicklung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien und von Effizienzmaßnahmen notwendig, insbesondere aber müssen ökonomische, infrastrukturelle und politische Schwierigkeiten überwunden werden.