

Die unterschätzten Risiken des Kohleausstiegs

Michael Pahle, Ottmar Edenhofer, Robert Pietzcker, Oliver Tietjen, Sebastian Osorio und Christian Flachsland

Die Kohlekommission hat einen Plan zur Abschaltung von Kohlekraftwerken empfohlen. Dieser Artikel zeigt: Es wird dadurch weder garantiert, dass Deutschland sein Klimaziel 2030 für die Energiewirtschaft erreicht, noch, dass Emissionsverlagerungen in Europa eingedämmt werden. Durch den komplizierten Lösungsmechanismus im europäischen Emissionshandel könnten die Emissionen in der EU insgesamt sogar ansteigen. Die damit verbundenen Risiken werden bisher ignoriert oder zumindest deutlich unterschätzt. Man kann ihnen jedoch mit einem CO₂-Mindestpreis und der Löschung von Zertifikaten begegnen.

Der von der Kohlekommission vorgeschlagene Fahrplan zur schrittweisen Abschaltung von Kraftwerken birgt zwei Risiken, die bisher ignoriert oder zumindest deutlich unterschätzt wurden. Zum einen könnte das Klimaziel der Energiewirtschaft für 2030 trotz der Abschaltungen verfehlt werden, wenn es zu einer deutlichen Steigerung der CO₂-Emissionen der noch im Markt verbleibenden Kohlekraftwerke kommt („Rebound-Effekt“). Und zum anderen könnten die durch den Kohleausstieg erzielten Emissionsreduktionen lediglich zu einer Verlagerung in andere Sektoren des europäischen Emissionshandels (ETS) führen („Wasserbett-Effekt“). Wir analysieren diese Effekte und kommen zu dem Schluss, dass sich der vorgeschlagene Fahrplan ohne zusätzliche Instrumente in dieser Hinsicht als riskant erweisen könnte.

Wechselwirkende Effekte: Rebound und Wasserbett

Für die Analyse ist es hilfreich, die beiden wechselwirkenden Effekte [1] vorab genauer zu erläutern. Der Rebound-Effekt wirkt über den Strommarkt. Durch das Abschalten von Kohlekraftwerken in Deutschland erhöht sich der Strompreis, und die im Markt verbleibenden Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke können häufiger kostendeckend produzieren. Dadurch wiederum erhöhen sich ihre Kapazitätsauslastung und die Emissionen. Je nachdem, ob diese Verlagerungen innerhalb oder außerhalb Deutschlands eintreten, spricht man vom nationalen [2] oder europäischen [3] Rebound-Effekt.

Der Wasserbett-Effekt wirkt dagegen über den ETS. Durch den Kohleausstieg reduziert sich die Nachfrage nach Zertifikaten und damit deren Preis. Für alle Akteure in den vom ETS erfassten Sektoren im In- und Ausland wird es also billiger, zusätzliche

Emissionsrechte zu erwerben. Das wiederum führt zu mehr Emissionen. Zwar wurde im Rahmen der jüngsten Reform der ETS-Richtlinie beschlossen, dass durch die Marktstabilitätsreserve (MSR) ab dem Jahr 2023 Zertifikate gelöscht werden. Doch wie wir weiter unten erläutern, wird der Wasserbett-Effekt dadurch keineswegs neutralisiert.

Tab. 1 gibt einen Überblick über beide Effekte, ihre Wirkungen und Einflussfaktoren. Sie ist additiv von links nach rechts aufgebaut. Ausgangspunkt ist der Kohleausstieg in isolierter Betrachtung ohne Rebound- und Wasserbett-Effekt. Ergebnis sind hier eindeutig geringere Emissionen. Durch die beiden Verlagerungseffekte können diese Einsparungen jedoch wie oben beschrieben (über)kompensiert werden. Der Gesamteffekt ist entsprechend unbestimmt – und muss für die Beurteilung

der Risiken mithilfe numerischer Modelle quantifiziert werden.

Bisherige Untersuchungen schätzen diese Risiken als eher gering ein. So kommt eine Analyse des Öko-Instituts zu dem Ergebnis, dass durch die Umsetzung der Empfehlungen der Kohlekommission das nationale Klimaziel sicher erreicht würde [3]. In der Analyse wird allerdings über die Standardannahmen hinaus nur ein einziges Sensitivitätsszenario mit positiverer Preisentwicklung (höherer CO₂-Preis, niedrigerer Gaspreis) betrachtet. Ob das Klimaziel „sicher“ erreicht wird, kann mit diesem Ansatz daher nicht robust untersucht werden.

In einer weiteren Untersuchung kommt die Agora Energiewende [4] zu dem Schluss, dass der Wasserbett-Effekt Geschichte sei.

Tab. 1: Übersicht der Verlagerungseffekte

	Kohleausstieg	+ Rebound-Effekt	+ Wasserbett-Effekt	= Gesamteffekt
Markt		Strommarkt	Zertifikatsmarkt/ETS	
Wirkung	DE: weniger Kohlestrom	DE: höhere Auslastung fossiler Kraftwerke EU: höhere Auslastung fossiler Kraftwerke und mehr Exporte nach DE	Sinkender CO ₂ -Preis führt zu Mehremissionen in allen ETS-Sektoren	
Effekt auf Emissionen	DE: ↘ EU: -	DE: ↗ EU: ↗	DE: ↗ EU: ↗	DE + EU: ?
Einflussfaktoren	Ausstiegspfad Kohle	Stromtransferkapazitäten, Emissionsintensität EU, Stromerzeugung	MSR Löschung, Vermeidungskosten	

DE = Deutschland, EU = alle anderen Länder im europäischen Emissionshandelssystem

Die jüngste ETS-Reform würde dafür sorgen, dass die nationalen Emissionsreduktionen durch eine entsprechende Löschung von Zertifikaten nicht zu Emissionssteigerungen in den europäischen Nachbarländern führen. Offen bleibt dabei jedoch, in welchem Umfang diese Löschung durch die MSR erfolgt, ob eine zusätzliche nationale Löschung notwendig ist, und welche finanziellen Implikationen diese hat.

Davon abweichend zeigt unsere Analyse, dass das deutsche Klimaziel nicht erreicht wird und die zusätzlichen Emissionsreduktionen des Kohleausstiegs durch den kombinierten Rebound-Wasserbett-Effekt zunichtegemacht werden könnten. Wir kommen zu diesem Ergebnis, weil wir im Gegensatz zu den obigen Studien beide Effekte in Kombination betrachten, Unsicherheiten über die zukünftigen Preisentwicklungen berücksichtigen und zudem die Wirkung des neuen Lösungsmechanismus durch die MSR ex-

plizit mit einbeziehen. Dadurch zeigt sich, dass der Wasserbett-Effekt auch durch die ETS-Reform kaum vermindert wird. Denn die MSR-Löschung ab 2023 ist vor allem für zusätzliche Emissionsminderungen wirksam, die bereits in den kommenden Jahren erfolgen. Der Kohleausstieg reduziert die nationalen Emissionen größtenteils jedoch erst nach 2030, weil die meisten Kraftwerke, die dem Zeitplan zufolge schon vorher abgeschaltet werden, ohnehin aus dem Markt gegangen wären.

Im Folgenden beschreiben wir die Ergebnisse und erläutern, warum ein CO₂-Mindestpreis bzw. eine zusätzliche Löschung von Zertifikaten essentiell für die Absicherung der Risiken des Kohleausstiegs ist.

Ergebnisse

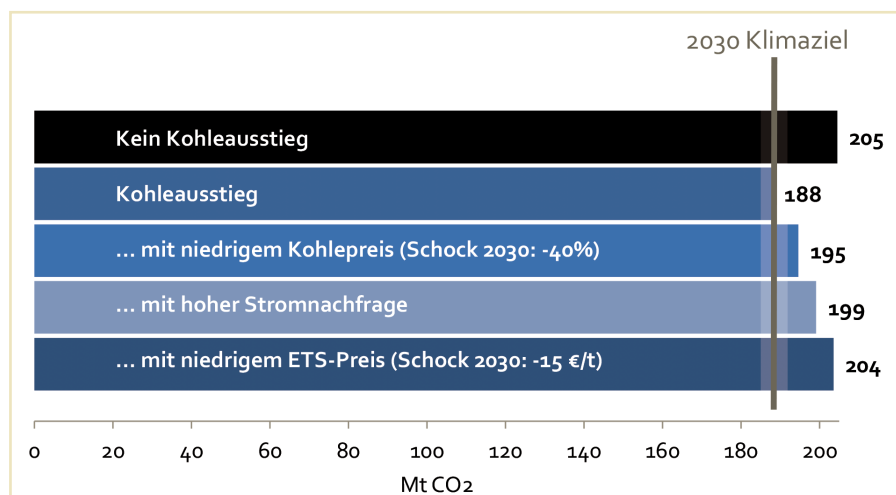
Unsere Untersuchung basiert auf dem Modell LIMES EU (weitere Informationen zum Modell, den Szenarien und Annahmen unter:

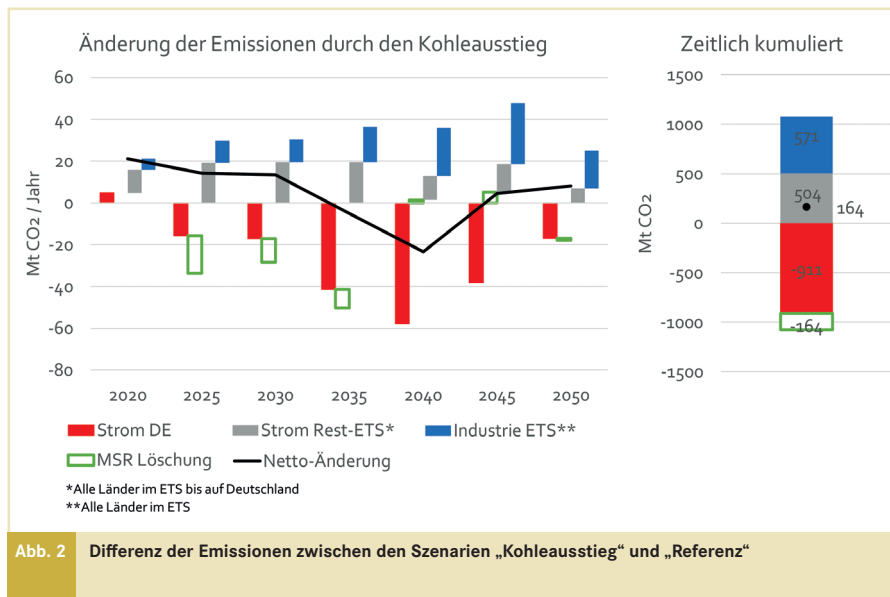
<https://www.pik-potsdam.de/members/pahle/et-artikel-risiken-kohleausstieg>), mit dem wir die beiden folgenden Grundszenerarien analysieren: „Referenz“ (kein Kohleausstieg) und „Kohleausstieg“ (Plan der Kohlekommission zur Abschaltung). Dabei gehen wir zunächst von Standardannahmen bezüglich der zukünftigen Marktentwicklung aus und leiten daraus die durch den Kohleausstieg erreichte Emissionsminderung ab. Darauf aufbauend untersuchen wir verschiedene Risikoszenarien, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden. Sie sind identisch mit dem Szenario „Kohleausstieg“, unterstellen jedoch für jeweils einen emissionskritischen Faktor eine alternative Marktentwicklung. Diese Szenarien stellen „worst cases“ (höhere Emissionen) dar, weil nur hier für politische Entscheidungsträger ein Risiko besteht, nachbessern zu müssen. Alternative „best cases“ bleiben außer Acht.

Risiko „Verfehlung des nationalen Klimaziels 2030“

In diesem Abschnitt zeigen wir, zu welchen Emissionsreduktionen der Kohleausstieg in den verschiedenen Szenarien führt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Wie auch das Öko-Institut in der bereits erwähnten Studie [3] stellen wir fest, dass bei Standardannahmen für Brennstoff- und Zertifikatspreise (Szenario „Kohleausstieg“) das Klimaziel 2030 erreicht wird. Die Emissionen sinken gegenüber dem Fall ohne Ausstieg (Szenario „Referenz“) jedoch lediglich um 17 Mt CO₂. Mit anderen Worten: Ein Großteil der Kohlekapazitäten würde auch ohne Ausstieg und allein durch den ansteigenden ETS-Preis vom Markt genommen. Die Analyse der Risikoszenarien zeigt weiterhin, dass selbst diese Reduktionen bei ungünstigen Marktentwicklungen mitunter verpuffen. Welche Faktoren bzw. Unsicherheiten dabei den größten Einfluss haben, wird im Folgenden erläutert.

Ein erster Risikofaktor sind sinkende Kohlepreise, die diesen emissionsintensiven Energieträger im Vergleich zu Gas wettbewerbsfähiger machen. Zwischen 2000 und 2019 bewegte sich der Einfuhrpreis für Steinkohle zwischen 40 und

**Abb. 1 Emissionen im Stromsektor in 2030**



112 €/t Steinkohleeinheiten (SKE), in 2016 lag er unter 60 €/t SKE. Angelehnt an diese historische Entwicklung nimmt das Risikoszenario „Kohlepreis“ an, dass der Kohlepreis im Jahr 2030 vorübergehend um 40 % auf 50 €/t SKE absinkt. In diesem Fall steigen die Emissionen im selben Jahr auf 195 Mt CO₂ an.

Ein zweiter Risikofaktor ist eine steigende Stromnachfrage, die die Emissionen durch alle fossilen Energieträger erhöht. Dazu könnte es insbesondere kommen, wenn der Verkehrs- und Wärmesektor umfassend elektrifiziert wird [5]. Wir gehen im Risikoszenario „Nachfrage“ von einer Nettosteigerung um 40 % im Jahr 2030 aus. Dies würde die Emissionen im Fall eines Kohleausstiegs auf 199 Mt CO₂ ansteigen lassen.

Sinkende Preise im EU-ETS – ein dritter Risikofaktor – machen die Kohle im Vergleich zu Gas ebenfalls wettbewerbs-

fähiger. Zwischen 2011 und 2013 sank der Preis von rund 15 auf knapp 3 €/t CO₂; seit 2017 stieg der Preis vermutlich infolge der Reform des ETS von etwa 5 auf rund 25 €/t CO₂ an. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass die Preise zukünftig erneut stark einbrechen, etwa wenn es zu ökonomischen oder politischen Schocks kommt. Daher betrachten wir im Risikoszenario „ETS Preis“ einen temporären Einbruch des Zertifikatspreises um 15 €/t CO₂ im Jahr 2030. Dieser Einbruch führt zur größten Zielabweichung aller drei Risikoszenarien: die Emissionen würden auf 204 Mt CO₂ ansteigen, was nahezu dem Niveau der Emissionen im Szenario „Referenz“ (kein Kohleausstieg, Standardannahmen) entspricht. Da man einen Preiseinbruch im ETS in dieser Höhe nicht ausschließen kann, ist eine entsprechende Absicherung des CO₂-Preises für das sichere Erreichen des Klimaziels 2030 also zentral.

Tab. 2: Preiseffekt und Einnahmedifferenz durch die Löschung von Zertifikaten

	Kohleausstieg	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Szenario „Kohleausstieg“	Auktionsmenge [Mt]	123	117	88	56	37	36	22
	Zertifikatspreis [€/t]	18	23	30	38	49	63	80
Szenario „Löschung“	Löschung	0	16	17	41	58	38	17
	Verbleibende Auktionsmenge [Mt]	121	96	64	6	-29	-6	3
	Zertifikatspreis [€/t]	20	25	32	41	53	68	87
	Differenz Einnahmen diskontiert [Mio.€/a]	139	-236	-327	-906	-1249	-791	-363

Risiko „Emissionsverlagerung im ETS“

Als nächstes schätzen wir die quantitative Größenordnung der Emissionsverlagerung im ETS ab, die sich durch den kombinierten Rebound- und Wasserbett-Effekt ergibt. Dabei nehmen wir an, dass das zurzeit bestehende Regelwerk für den ETS auch in Zukunft Bestand hat. In Übereinstimmung mit theoretischen [1] und numerischen [6] Analysen finden wir, dass der Wasserbett-Effekt durch die MSR nicht neutralisiert wird. Grund dafür ist, dass der Großteil der zusätzlichen Emissionsreduktionen durch den Kohleausstieg erst ab dem Jahr 2035 erfolgt (siehe Abb. 2). Zu diesem Zeitpunkt jedoch ist der Marktüberschuss an Zertifikaten (nicht gezeigt) schon stark abgebaut, und die MSR wird nicht weiter mit Zertifikaten befüllt: der Wasserbett-Effekt wirkt also fort. Dies führt wiederum durch den Mechanismus der intertemporalen Preisbildung dazu, dass sich der ETS-Preis über den gesamten Zeithorizont reduziert und in allen ETS-Sektoren die Emissionen entsprechend ansteigen. Infolgedessen reduziert sich die Löschung aus der MSR insbesondere in den Jahren bis 2035 (grün umrandete Balken).

Speziell in Deutschland hat das zur Folge, dass trotz Kohleausstieg die Emissionen im Stromsektor im Jahr 2020 im Vergleich zum Szenario „Referenz“ aufgrund des geringeren ETS-Preises leicht ansteigen. Begünstigt wird dies durch den Umstand, dass die Kraftwerkskapazität laut Plan der Kohlemission bis dahin nur minimal reduziert wird und daher wie oben beschrieben die Mehrzahl der Kohlekraftwerke im Markt verbleibt.

ETS-weit bewirkt die reduzierte Löschung, dass es zu einer Netto-Erhöhung der Emissionen kommt (siehe Abb. 2 rechts): Im deutschen Stromsektor reduziert der Kohleausstieg die Emissionen zwischen 2020 und 2050 (Modelljahre) um insgesamt 911 Mt CO₂. Gleichzeitig erhöhen sich die Emissionen im restlichen ETS (ausländische Strommärkte und Industrie) um 1.075 Mt CO₂, weil die Löschung durch die MSR um 164 Mt CO₂ geringer ausfällt. Dass der Kohleausstieg im wahrsten Sinn des Wortes europaweit sogar nach hinten losgehen könnte, unterstreicht nur die Bedeutung dieses Risikos.

Reduzierung der Risiken

Das Risiko „Verfehlung des nationalen Klimaziels“ könnte für sich genommen – ohne Berücksichtigung des Risikos „Emissionsverlagerung im ETS“ – durch einen nationalen CO₂-Mindestpreis vermieden werden. Dieser müsste je nach Szenario im Jahr 2030 zwischen 35 und rund 60 €/t CO₂ liegen [7]. Das Risiko der Verlagerungen im ETS könnte jedoch nur vermieden werden, wenn der ETS-Preis durch den Kohleausstieg nicht absinkt. Dies kann durch einen ETS-weiten Mindestpreis oder alternativ durch eine Löschung von Zertifikaten erreicht werden. Eine solche Löschung, die auch die Kohlekommission empfiehlt, wird ebenfalls in der Studie des Öko-Instituts [3] berücksichtigt – jedoch nur implizit durch die Annahme, der ETS-Preis bleibe im Vergleich zum Referenzszenario unverändert. Die Höhe der zu löschenden Menge, der konkrete Wirkmechanismus und die Einkommenseffekte (Staatseinnahmen) bleiben damit im Dunkeln. Diese sind aber entscheidend für die Beurteilung der Relevanz dieser komplementären Maßnahme. Daher analysieren wir diese Option in einem ergänzenden Szenario explizit. Wir nehmen dabei vereinfachend an, dass die Löschung identisch mit den durch den Kohleausstieg erzielten Emissionsreduktionen im deutschen Stromsektor ist (rote Balken in Abb. 2).

Es zeigt sich, dass diese Löschung den Zertifikatspreis wie erwartet anhebt, allerdings auch zu Einnahmeausfällen im deutschen Staatshaushalt führt (siehe Tab. 2). Dafür sind zwei gegenläufige Effekte maßgeblich [8]: Einerseits senken sich durch die Löschung unmittelbar die Einnahmen, weil die entsprechende Menge nicht auktioniert werden kann. Andererseits steigen durch die höheren ETS-Preise aber die Einnahmen durch die Auktion der verbleibenden Zertifikate. Der Nettoeffekt ist gleichwohl ab dem Jahr 2025 negativ. Die gesamten Kosten für die Löschung im Zeitraum 2020 bis 2050 betragen diskontiert rund 19 Mrd. €, wobei der Großteil erst ab 2030 anfällt. Unter den hier gemachten Annahmen für die zukünftigen Auktionsmengen ergibt sich darüber hinaus für die Jahre 2040 und 2045 eine negative

verbleibende Menge: Es müssten also noch zusätzliche Zertifikate erworben werden, um eine Löschung in ausreichender Menge zu erreichen.

Für den deutschen Finanzminister und die multilaterale Klimapolitik gäbe es jedoch eine attraktivere Lösung, als dies national zu machen: die Einführung eines ETS-weiten Mindestpreises in entsprechender Höhe (siehe 5. Zeile in Tab. 2). Die EU-Mitgliedstaaten – oder zumindest eine „Koalition der Willigen“ – könnten sich darauf einigen, einen entsprechenden Reservationspreis bei ihren Auktionen zu implementieren und die nicht versteigerten Zertifikate zu löschen. Die Opportunitätskosten der Löschungen würden dann auf mehrere Schultern verteilt. Dies könnte bei entsprechender Aufteilung auch zu positiven Einnahmen für Deutschland führen.

Fazit

Der von der Kohlekommission vorgeschlagene Plan für die schrittweise Abschaltung von Kohlekraftwerken stellt nicht sicher, dass das deutsche Klimaziel bis 2030 erreicht wird, und auch nicht, dass EU-weit die Emissionen vermindert werden. Das erste Risiko kann jedoch deutlich verringert werden durch einen nationalen CO₂-Mindestpreis nach Vorbild des Modells von Großbritannien, das zweite Risiko durch einen europäischen ETS-Mindestpreis oder nationale Löschung von Zertifikaten. Dabei bietet der ETS-Mindestpreis im Vergleich zur Löschung den Vorteil einer klaren preisbasierten Regel, die auch bei Marktunsicherheiten zu einem stabilen Preissignal führt.

Selbst Optimisten, die unseren Risikoszenarien nur eine geringe Wahrscheinlichkeit zuweisen, könnten sich unserem Vorschlag anschließen: Der Mindestpreis ist eine Versicherungspolice zur Absicherung gegen Unsicherheiten auf den Märkten und deren politische Konsequenzen. Wenn sich der Ausstieg am Ende tatsächlich als „Luftnummer“ erweist, müsste das enorme politische Kapital abgeschrieben werden, das in den Kohlekompromiss investiert wurde. Die deutsche Klimapolitik würde national und international

weiter an Glaubwürdigkeit verlieren. Noch ist es möglich, dieses Szenario zu verhindern.

Literatur

- [1] Perino, G.; Ritz, R. A. van Benthem, A.: "Understanding Overlapping Policies: Internal Carbon Leakage and the Punctured Waterbed," NBER Working Paper 25643, 2019.
- [2] Edenhofer, O.; Hufendiek, K.: "Raus aus der Kohle – aber smart," Sueddeutsche.de, 2019. [Online]. Available: <https://www.sueddeutsche.de/politik/aussenansicht-raus-aus-der-kohle-aber-smart-1.4314551>.
- [3] Matthes, F.; Herrmann, H.; Loreck, C.; Mendelevitsch, R.: "Die deutsche Kohle-Verstromung bis 2030," 2019.
- [4] Agora Energiewende/Öko-Institut: "Vom Wasserbett zur Badewanne," 2018.
- [5] Ruhnau, O.; Bannik, S.; Otten, S.; Praktiknjo, A.; Robinus, M.: "Direct or indirect electrification? A review of heat generation and road transport decarbonisation scenarios for Germany 2050," Energy, vol. 166, pp. 989–999, 2019.
- [6] Burtraw, D.; Keyes, A.; Zetterberg, L.: "Companion Policies under Capped Systems and Implications for Efficiency—The North American Experience and Lessons in the EU Context," 2018.
- [7] Osorio, S.; Pietzcker, R.; Pahle, M.; Edenhofer, O.: "How to Deal with the Risks of Phasing out Coal in Germany through National Carbon Pricing. CESifo Working Paper 7438," 2018.
- [8] Pahle, M.; Burtraw, D.; Tietjen, O.; Flachsland, C.; Edenhofer, O.: "Preserving the integrity of the EU ETS under unilateral action," 2019.

Dr. M. Pahle, Leiter Arbeitsgruppe Klima- & Energiepolitik, Prof. Dr. O. Edenhofer, Direktor (PIK/MCC), Dr. R. Pietzcker, O. Tietjen, Dr. S. Osorio, wissenschaftliche Mitarbeiter, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK); Prof. Dr. C. Flachsland, Leiter Arbeitsgruppe „Governance“, MCC Berlin

Danksagung

Die diesem Artikel zugrunde liegenden Forschungsarbeiten wurden durch das BMBF im Rahmen des Kopernikus-Projekts „ENavi“ und durch die Stiftung Mercator im Rahmen des Projekts „AHEAD“ gefördert.