

**Dieser Beitrag untersucht den Effekt von Kyoto-Verpflichtungen auf Emissionen und Carbon Footprints. Die Entscheidung, das Kyoto-Protokoll zu ratifizieren, erfolgt nicht zufällig. Daher instrumentieren wir die Kyoto-Mitgliedschaft mit der Ratifikation der Statuten des Internationalen Gerichtshofs in Den Haag. Unsere Schätzungen ergeben, dass Kyoto-Verpflichtungen die heimischen Emissionen um 7% senken. Auf den Carbon Footprint hingegen gibt es keinen Effekt. Dieses Ergebnis impliziert, dass das Kyoto-Protokoll zu Emissionsverlagerungen geführt hat.**

## Motivation

Eine zentrale Frage für das Design internationaler Klimaabkommen ist die nach der Effektivität von Emissionseinsparungen. Eine strengere Klimapolitik in einem Teil der Welt kann zu Verschiebungen der komparativen Vorteile führen und damit zur Verlagerung der Herstellung besonders CO<sub>2</sub>-intensiver Güter in Länder mit laxer Klimapolitik (vgl. z.B. Copeland und Taylor 2005). Emissionseinsparungen im restringierten Land führen dann zu mehr Emissionen in anderen Ländern (»Carbon Leakage«). Somit ist die Klimawirksamkeit unilateraler Klimapolitik theoretisch unklar. Einige Studien verwenden computergestützte allgemeine Gleichgewichtsmodelle, um ex ante die Auswirkungen von Klimapolitiksszenarien zu simulieren (vgl. z.B. Elliott et al. 2010; Babiker 2005). In Aichele und Felbermayr (im Erscheinen) komplementieren wir die bestehende Literatur, indem wir ex post die Auswirkungen des Kyoto-Protokolls evaluieren.

Dafür betrachten wir die Emissionen und Carbon Footprints von Kyoto- und Nicht-Kyoto-Ländern im Vergleich. Der »Carbon Footprint« misst alle CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Güterkonsum eines Landes im In- und Ausland entstehen, wobei explizit auch die Emissionen auf vorgelagerten Produktionsstufen berücksichtigt werden.<sup>1</sup> Fallende Emissionen in Kyoto-Ländern bei unverändertem Carbon Footprint wären konsistent mit der Carbon-Leakage-Hypothese.

Man könnte argumentieren, dass kein Effekt des Kyoto-Protokolls auf Emissionen

erwartet werden kann, da das Kyoto-Protokoll – wie viele andere freiwillige internationale Abkommen – darunter leidet, dass eine Durchsetzung der versprochenen Emissionsreduktionen nicht erzwingbar ist. Und in der Tat gibt es einige Kyoto-Länder, bei denen die Emissionseinsparungen weit hinter den versprochenen herhinken. Allerdings hätten die Emissionen in diesen Ländern noch weitaus höher sein können – ohne Kyoto-Verpflichtungen. Daher argumentieren wir, dass für die Beurteilung des (Miss-)Erfolgs des Kyoto-Protokolls letztlich ein Vergleich der Emissionen mit einer kontrafaktischen Situation ohne Kyoto relevant ist und nicht ein Vergleich mit den versprochenen Reduktionen.

Auch die politikwissenschaftliche Literatur hat hier einige Erkenntnisse zu bieten. Hier wird allgemein diskutiert, ob internationale Umweltabkommen ihre Ziele auch ohne Durchsetzungsmechanismus erreichen können. Ringquist und Kostadinova (2005) liefern einen Überblick über die Argumente. Unter anderem wird argumentiert, dass die Einhaltung der im Rahmen eines internationalen Umweltabkommens versprochenen Verpflichtungen zu mehr Kooperation in anderen internationalen Belangen wie der internationalen Kreditvergabe führt (vgl. Rose und Spiegel 2009). Zusätzlich können Berichterstattungspflichten und Überwachung öffentlichen Druck zur Einhaltung erzeugen. Im Fall des Kyoto-Protokolls wird diese Aufgabe vom Sekretariat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) übernommen. Letztlich ist es also eine empirische Frage, ob das Kyoto-Protokoll zu Emissionseinsparungen (gegenüber der kontrafaktischen Situation) geführt hat und wie es sich mit dem Effekt auf die Footprints verhält.

<sup>1</sup> Für eine weiterführende Diskussion zum Konzept Carbon Footprint vgl. auch unseren ifo Schnelldienstbeitrag Aichele und Felbermayr (2011b).

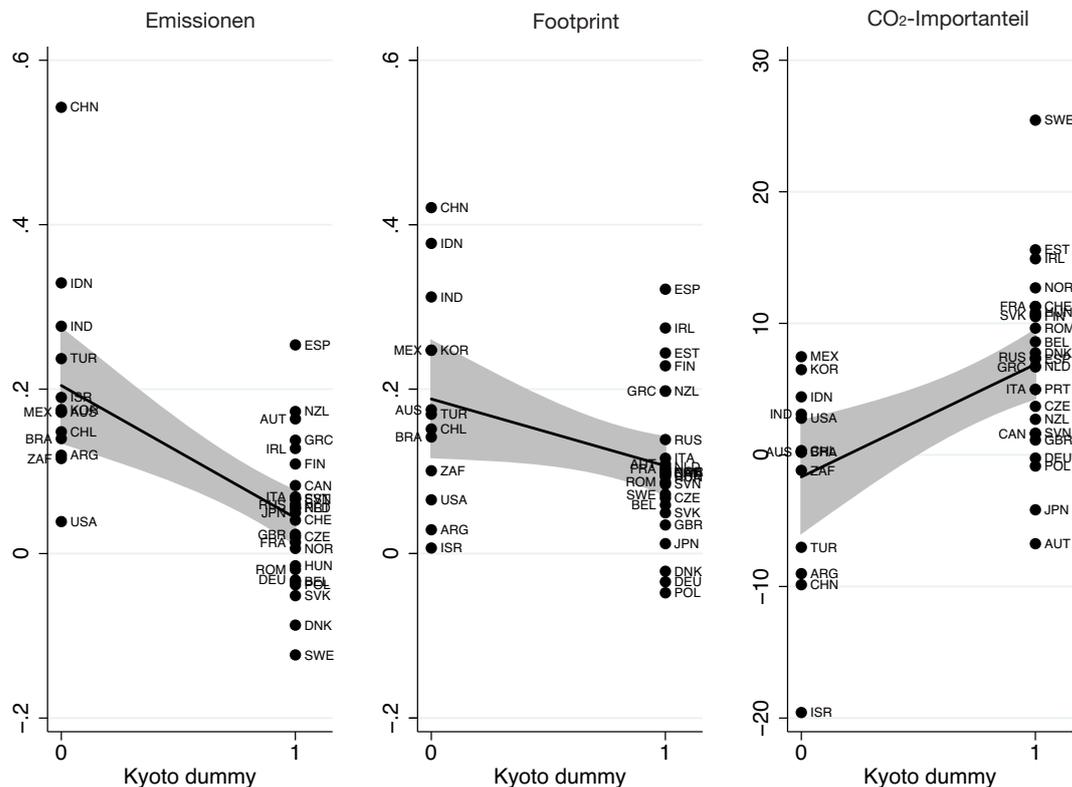
### Empirische Überprüfung der Kyoto-Auswirkungen auf Emissionen und Footprints

Um zu überprüfen, ob Kyoto-Verpflichtungen auf Emissionen bzw. Carbon Footprint wirken, nutzen wir eine eigens erstellte Datenbank der Carbon Footprints, die die Jahre 1995–2007 umfasst (vgl. Aichele und Felbermayr 2011b). Der Fokus unserer Studie liegt auf einer Dummy-Variablen, die die Ratifikation von Emissionszielen im Kyoto-Protokoll kodiert. Der Dummy ist 1, wenn ein Land in einer Periode Kyoto-Verpflichtungen hat und sonst 0. Das Arbeiten mit einem Mitglieds-Dummy ist dabei gängige Praxis in der Literatur zur Evaluierung von Politikinitiativen, wie z.B. Freihandelsabkommen, Zollunionen, aber auch Umweltabkommen. Wir verwenden die Ratifikation des Protokolls im nationalen Parlament als Treatment-Datum, da hierdurch die entscheidenden politischen Weichen gestellt werden. Zudem wird ab dem Zeitpunkt der Ratifikation eine Anpassung der Erwartungen der Wirtschaftssubjekte über die klimapolitische Ausrichtung der Regierung erfolgen. Als alternatives Treatment-Datum werden wir das Inkrafttreten des Protokolls im Jahr 2005 verwenden. In unseren Regressionsmodellen kontrollie-

ren wir für eine große Zahl von Emissionsdeterminanten wie Wirtschaftsleistung, Bevölkerung, industrielle Struktur und politische Ausrichtung. Länderspezifische Effekte (wie geographische Lage, klimatische Bedingungen, Vorkommen natürlicher Ressourcen) werden durch Länder-Dummies modelliert. Um keine Scheinkorrelation (»spurious Korrelation«) aufzufangen, vergleichen wir Durchschnittswerte vor und nach dem Treatment (vgl. Bertrand et al. 2004). Wir vergleichen also den Durchschnitt von 1997–2001 mit dem von 2004–2007 zwischen Kyoto- und Nicht-Kyoto-Ländern.

Ein Vergleich der Emissionswachstumsraten zeigt bereits deutliche Unterschiede zwischen Kyoto- und Nicht-Kyoto-Ländern (vgl. Abb. 1). In Nicht-Kyoto-Ländern wuchsen die durchschnittlichen Emissionen zwischen 1997–2000 und 2004–2007 mit im Schnitt 20% deutlich mehr als in Kyoto-Ländern (Schnitt von 4%). Der Unterschied von 16 Prozentpunkten ist signifikant und in Abbildung 1 durch die schwarze Linie gekennzeichnet. Das graue Band ist ein 95%-Konfidenzintervall. Der Vergleich der Wachstumsraten der Footprints liefert weniger klare Ergebnisse. Zwar ist die durchschnittliche Wachstumsrate in Nicht-Kyoto-Ländern (mit

Abb. 1  
Kyotos Durchschnittseffekt auf Emissionen, Footprints und CO<sub>2</sub>-Importrate



Die Abbildung zeigt für Kyoto- und Nicht-Kyoto-Länder die Differenz zwischen Vor-Treatment- und Nach-Treatment-Periode in log Pro-Kopf-Emissionen, log Pro-Kopf-Footprint und Netto-CO<sub>2</sub>-Import in Prozent der Emissionen.

Quelle: Aichele und Felbermayr (im Erscheinen).

19%) um ca. 8 Prozentpunkte größer als diejenige in Kyoto-Ländern (11%), doch der Unterschied ist im Durchschnitt nicht signifikant. Die rechte Teilabbildung zeigt die Veränderung der Netto-CO<sub>2</sub>-Importe gemessen an den heimischen Emissionen. Diese fiel in Nicht-Kyoto-Ländern im Schnitt leicht, während sie in Kyoto-Ländern durchschnittlich um rund 7 Prozentpunkte stieg.

Diese Abbildungen sind zwar suggestiv, dennoch stellen sie keine Kausalität dar. Um die Auswirkungen von Kyoto-Verpflichtungen zu untersuchen, hätte man gerne Laborbedingungen. Idealerweise hätte man eine Stichprobe von identischen Ländern und würde dann einige zufällig ausgewählte Länder einem Treatment (in unserem Fall Kyoto-Verpflichtung) unterwerfen; und andere wiederum nicht. Der sich ergebende Unterschied in Emissionen und Footprints wäre dann der Treatment-Effekt von Kyoto-Verpflichtungen. Da die Ratifikation des Kyoto-Protokolls eine politische Entscheidung ist, die auf Länderebene getroffen wird, ist die Kyoto-Mitgliedschaft jedoch nicht zufällig. Dies kompliziert die ökonometrische Analyse. Es ist vorstellbar, dass die Kausalität auch in die umgekehrte Richtung läuft: Länder mit sinkenden Emissionen könnten eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, Kyoto zu ratifizieren. Der negative Effekt von Kyoto-Verpflichtungen auf Emissionen würde in diesem Fall überschätzt werden, da ein Teil der Emissionseinsparungen ohnehin stattgefunden hätte. Um dieses Problem zu umgehen, verwenden wir einen Instrumentenvariablenansatz. Dieser versucht, die Laborbedingungen wieder herzustellen. Man sucht Variablen, die zwar mit der Kyoto-Ratifikation korreliert sind, aber keinen unmittelbaren Einfluss auf Emissionen oder Footprints haben. Über die exogen gegebene Variation dieser Instrumentenvariablen identifiziert man nur den Effekt der zufälligen Variation in Kyoto-Verpflichtungen und erhält somit einen unverzerrten Schätzer des Treatment-Effekts.

Die erste Instrumentenvariable in unseren Regressionsmodellen ist die Ratifikation der Statuten des Internationalen Gerichtshofs (ICC) in Den Haag. Der Internationale Gerichtshof ist ein permanentes Tribunal, vor dem sich Individuen für Genozide, Kriegsverbrechen und Verbrechen gegen die Menschlichkeit verantworten müssen. Sowohl der Internationale Gerichtshof als auch das Kyoto-Protokoll beschränken die Mitgliedsländer in ihrer nationalen Souveränität. Länder unterscheiden sich in ihren Präferenzen, diese Souveränität für länderübergreifende Ziele (wie Klimaschutz oder Aufklärung von Verbrechen gegen die Menschlichkeit) aufzugeben. Daher lautet unsere Hypothese, dass Kyoto- und ICC-Mitgliedschaft korreliert sind. Und in der Tat finden wir, dass Länder, die die Statuten des Internationalen Gerichtshofs ratifizieren, auch eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit haben, die Kyoto-Verpflichtungen zu ratifizieren. Da die Mitgliedschaft zum Internationalen Gerichtshof nichts mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß oder dem Carbon

Footprint eines Landes zu tun hat, haben wir ein exogenes Instrument gefunden. Als zweites Instrument verwenden wir das durchschnittliche Bevölkerungswachstum zwischen dem Zeitraum vor unserer Analyse, d.h. 1991–1996, und der Vor-Treatment-Periode 1997–2003. Die Intuition hier ist, dass ein höheres Bevölkerungswachstum zwischen diesen Perioden einen Druck auf die Emissionen ergab und daher die politische Entscheidung, die Kyoto-Verpflichtungen zu ratifizieren, negativ beeinflusst hat. Allerdings hat das Bevölkerungswachstum vergangener Perioden keinen direkten Einfluss auf das Emissions- und Footprintwachstum und ist daher ebenfalls exogen.

### Ergebnisse zu Kyoto-Effekten

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Kyoto-Verpflichtungen in der Tat zu einer Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 7% führen. Weiterhin ist interessant, dass eine 1-zu-1-Beziehung zwischen Bevölkerungs- und Emissionswachstum besteht. Die Elastizität der Emissionen gegenüber dem BIP-Wachstum ist ebenfalls positiv und signifikant, aber kleiner als 1. Die Tests auf Instrumentenexogenität und schwache Instrumente bescheinigen eine gute Instrumentationsstrategie.

Man könnte argumentieren, dass der negative Kyoto-Effekt von der Sonderentwicklung Chinas oder durch ehemals kommunistische Transformationsstaaten getrieben wird. Unsere Ergebnisse sind jedoch robust, wenn man China bzw. Transformationsländer wie Deutschland, Rumänien, Polen und die Slowakei aus der Stichprobe nimmt. In einer weiteren Studie testen wir den Effekt von Kyoto-Verpflichtungen auf Emissionen in einer größeren Stichprobe mit 133 Ländern (vgl. Aichele und Felbermayr 2011a). Der negative Emissionseffekt ist auch für diese erweiterte Stichprobe robust. Weiterhin variieren wir die verwendeten Instrumente – ohne Auswirkungen auf die Ergebnisse. Schließlich prüfen wir, ob die Annahme des Treatments zwischen 2001 und 2003 einen Einfluss hat.

Um die Hauptergebnisse zu stützen, untersuchen wir mögliche Kanäle, über die das Kyoto-Protokoll zu Emissionsreduktionen geführt haben könnte (vgl. Aichele und Felbermayr 2011a). Wir finden, dass Kyoto-Länder durch signifikant höhere Benzin- und Dieselpreispreise gekennzeichnet sind. Der Effekt ist in der Größenordnung von 0,20–0,25 US-Dollar pro Liter. Kyoto-Länder weisen ebenfalls einen CO<sub>2</sub>-ärmeren Energiemix auf: der Anteil erneuerbarer Energiequellen wie Wind- und Solarenergie ist signifikant höher (knapp 2 Prozentpunkte), der Anteil fossiler Energieträger signifikant geringer.

Als nächstes wenden wir uns den Effekten auf die Footprints zu. Wir finden keinen Beleg, dass Kyoto-Verpflichtungen den

Carbon Footprint von Kyoto-Ländern signifikant beeinflussen. Dieses Ergebnis ist wiederum robust über verschiedene Sensitivitätsanalysen. Da die Emissionen fallen, der Footprint jedoch nicht, impliziert dies einen Anstieg der Netto-CO<sub>2</sub>-Importe durch Kyoto-Länder. Dieses Muster wird von unseren Ergebnissen bestätigt.

### Fazit

Entgegen der gängigen Meinung hat die Kyoto-Verpflichtung für Kyoto-Länder zu einer Reduktion der heimischen Emissionen gegenüber der kontrafaktischen Situation geführt. Ein Grund hierfür sind höhere Kraftstoffpreise sowie ein höherer Anteil alternativer Energiequellen bei der Energieerzeugung. Allerdings stellen wir ebenfalls fest, dass sich kein Effekt auf den Carbon Footprint nachweisen lässt. Die Gesamtmenge der Emissionen, die durch den Konsum in Kyoto-Ländern erzeugt wird, ging im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Konsum von Nicht-Kyoto-Ländern nicht zurück. Dies bedeutet, dass Carbon Leakage wichtig ist und dass das Kyoto-Protokoll zur Verlagerung von Emissionen ins Ausland geführt hat.

Diese Erkenntnis impliziert, dass unilaterale Klimapolitik in einer globalisierten Welt nicht wirksam ist. Eine effektive Klimapolitik setzt voraus, dass alle Länder in ein globales Klimaabkommen eingebunden werden. Diese Option steht politisch derzeit nicht zur Verfügung. Unilaterale Klimapolitik könnte dennoch effektiv gestaltet werden, wenn die Klimapolitik statt der heimischen Emissionen den Carbon Footprint anvisieren würde. Dies würde Carbon Leakage verhindern. Zu diesem Zweck könnte der Emissionszertifikatehandel z.B. mit der Anforderung an Importeure kombiniert werden, Zertifikate für den CO<sub>2</sub>-Gehalt von Importen zu erwerben.

Abschließend bleibt der Vorbehalt, dass wir in unseren Studien nur den Unterschied in Emissionen- und Footprintentwicklung zwischen Kyoto- und Nicht-Kyoto-Ländern untersuchen konnten. Unsere Analyse erlaubt keine Aussage darüber, ob das Kyoto-Protokoll die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen senken konnte oder nicht. Dies könnte z.B. dadurch geschehen, dass durch Kyoto induzierte Innovationen auch in Nicht-Kyoto-Ländern eingesetzt werden und dort Emissionsreduktionen verursachen. Hierzu müsste man eine Zeitreihenanalyse anstrengen und untersuchen, ob das Kyoto-Protokoll zu einem Trendbruch in den weltweiten Emissionen geführt hat. Dies ist ein interessanter Weg für zukünftige Forschungsprojekte.

### Literatur

Aichele, R. und G. Felbermayr (2011a), »What a Difference Kyoto Made: Evidence from Instrumental Variables Estimation«, Ifo Working Paper Nr. 102.

Aichele, R. und G. Felbermayr (2011b), »Carbon Footprints«, *ifo Schnelldienst* 64(21), 11–16.

Aichele, R. und G. Felbermayr, »Kyoto and the Carbon Footprint of Nations«, *Journal of Environmental Economics and Management*, im Erscheinen; auch erschienen als Ifo Working Paper Nr. 103.

Babiker, M.H. (2005), »Climate change policy, market structure, and carbon leakage«, *Journal of International Economics* 65(2), 421–445.

Bertrand, M., E. Duflo und S. Mullainathan (2004), »How Much Should We Trust Differences-in-Differences Estimates?«, *The Quarterly Journal of Economics* 109(1), 249–275.

Copeland, B.R. und M.S. Taylor (2005), »Free trade and global warming: a trade theory view of the Kyoto protocol«, *Journal of Environmental Economics and Management* 49(2), 205–234.

Elliott, J., I. Foster, S. Kortum, T. Munson, F.P. Cervantes und D. Weisbach (2010), »Trade and Carbon Taxes«, *American Economic Review: Papers and Proceedings* 100(2), 465–469.

Ringquist, E.J. und T. Kostadinova (2005), »Assessing the Effectiveness of International Environmental Agreements: The Case of the 1985 Helsinki Protocol«, *American Journal of Political Science* 49(1), 86–102.

Rose, A.K. und M.M. Spiegel (2009), »Noneconomic Engagement and International Exchange: The Case of Environmental Treaties«, *Journal of Money, Credit and Banking* 41(2–3), 337–363.