Universität Leipzig
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Institut für theoretische Volkswirtschaftslehre - Makroökonomie
Prof. Dr. Thomas Steger

Seminararbeit

Replikationsstudie

Optimal Climate Policy As If Transition Matters

Emanuele Campiglio, Simon Dietz, Frank Venmans

Prüfer: Prof. Dr. Thomas Steger

Vorgelegt von: Lukas Kaden
Matrikelnummer: 3771927
E-Mail-Adresse: ky57qive@studserv.uni-leipzig.de
Anschrift: Fuchshainer Str. 3
04317 Leipzig

Leipzig, den 31.08.2023

Abstract

Zusammenfassung des Modells

Relevanz des Themas

Der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft stellt eine bedeutende Herausforderung dar. Obwohl allgemein Einigkeit darüber besteht, dass die Emissionen langfristig gegen null gesenkt werden müssen, gibt es unterschiedliche Meinungen darüber, wie dieser Übergang am besten gestaltet werden kann. Wie hoch sollen die initialen CO2-Preise sein und wie sollten sie sich über die Zeit verändern? Sollten wir emissionsintensive Anlagen möglichst schnell stillegen und abreißen, um die gebundenen Ressourcen anderweitig zu nutzen? Wenn ja, wie hoch sollte die jährliche Desinvestmentrate sein und wie hoch könnten die Kosten sein, die durch Abriss und Reallokation gesellschaftlich entstehen? Ein Großteil der industriellen Infrastruktur, wie Kraftwerke, Stahlwerke und Zementfabriken, basiert derzeit auf fossilen Brennstoffen. Eine wünschenswerte, rasche Reduzierung der Treibhausgasemissionen wäre daher mit erheblichen Zusatzkosten verbunden, da bestehende Infrastrukturen entweder umgerüstet oder stillgelegt werden müssten. Im Gegensatz dazu ist eine graduelle Emissionsreduktion kostengünstiger, da die grüne Infrastruktur sukzessive eingeführt werden kann, wenn die bestehende Infrastruktur das Ende ihrer Lebensdauer erreicht. Hierbei entstehen jedoch langfristig mehr Schäden an Biodiversität, Kapitalstock und Wohlbefinden durch höhere Temperaturen.

Campiglio, Dietz und Venmans haben ein dynamisches stochastisches allgemeines Gleichgewichtsmodell (DSGE-Modell) entwickelt, welches drei wesentliche Merkmale aufweist, die bisher nicht in einem einzigen Modell untersucht wurden. Erstens berücksichtigt es die Grenzen, wie schnell Emissionen durch Anpassungskosten bei der Akkumulation sauberer Energiekapitalien und der Desinvestition in fossile Kapitalien reduziert werden können. Zweitens integriert es das weit verbreitete Phänomen sinkender Kosten für saubere Technologien, die sowohl autonom als auch induziert sein können. Drittens umfasst es mehrere Unsicherheitsquellen, einschließlich Konjunkturzyklen, Klimavariabilität und seltene makroökonomische Schocks, die durch den Klimawandel wahrscheinlicher werden.

Die Ergebnisse des Modells zeigen, dass der optimale Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft schnell erfolgen sollte. Von 2020 bis 2030 sollten die Emissionen etwa halbiert werden, unabhängig davon, ob das Ziel die Maximierung der diskontierten Nutzen der Emissionsreduktion oder die Begrenzung der Erwärmung auf 1,5°C ist. Dies erfordert einen hohen CO2-Preis und die aktive Stilllegung schmutziger Anlagen wie Kohlekraftwerke (Desinvestment).

Modellstruktur

Im Sinne der Komplexitätsreduktion, Vereinfachung und Fokussierung, muss zu Beginn eine Eingrenzung des Systems vorgenommen werden. Dabei ist es wichtig zu beachten, wie sensitiv die Ergebnisse in Bezug auf die Änderung oder Vernachlässigung bestimmter Systemkomponenten ist.

Nach der ersten Konzeptionierung des Systems in der Programmiersprache R, sowie Mithilfe der Robusheitsanalysen des originalen Papiers, wurde die stochastische Natur des Modells in eine Deterministische umgewandelt. Die „Straw Man“-Version des Modells wird von den Autoren gezielt verwendet, um die Effekte von Unsicherheit und Kapitalträgheit zu analysieren. In dieser vereinfachten Modellvariante werden Unsicherheit, Kapitalträgheit durch Investitionskosten sowie variable Kosten für grüne Technologien vernachlässigt. Das „Straw Man“-Modell wird als vereinfachtes Modell konzipiert, um den grundlegenden Mechanismus der optimalen Steuerung von Treibhausgasen zu veranschaulichen. Im Rahmen der Untersuchung zur optimalen Steuerung von Treibhausgasen wurde auf die Kalkulation eines CO2-Preises verzichtet. Die Integration eines replikativen CO2-Preises erfordert die Berücksichtigung der entsprechenden Nutzenfunktion (Epstein-Zinn), und damit einhergehender Variablen und Parameter. Diese Variablen konnten im vereinfachten Modell nicht angemessen abgebildet werden. Praktische Schwierigkeiten bei der Preisermittlung spielten ebenfalls eine wesentliche Rolle. Trotz intensiver Bemühungen bei der Implementierung der sozialen Kosten der Emission von CO2 konnten bis zum aktuellen Zeitpunkt keine zuverlässigen und konsistenten Ergebnisse für einen CO2-Preis erzielt werden.

Die grundlegende Lösung des Modells basiert daher auf einer alternativen Herangehensweise. Die zu maximierende Funktion ist das kumulative Bruttoinlandsprodukt (Y), über die Steuerung des Investmentpfades in grüne und fossile Kapitalien.

1. Produktion, Vermeidungskosten und Schäden durch Temperatur

Die Autoren verwenden eine Cobb-Douglas Produktionsfunktion,

$$Y = AL^{1-\alpha}K^{\alpha}\Lambda\Omega \tag{1}$$

wobei Ω, eine konvexe Funktion der Temperatur (T), die Schäden am Kapitalstock sowie Produktivitätsminderungen durch höhere Temperaturen abbildet. γ ist ein Schadensmultiplikator.

$$\Omega = \exp\left(-\frac{\gamma}{2}T^2\right), \tag{2}$$

/Lamba bildet die Reduktion des gesamtwirtschaftlichen Outputs durch Vermeidung von CO2 (μ) ab. ψ_t bildet die Steigung der marginalen Vermeidungskosten wieder, welche im vereinfachten "straw man"-Modell konstant ist.

$$\Lambda = \exp\left(-\frac{\psi_t * \mu^2}{2}\right) \tag{3}$$

Die Temperatur entwickelt sich proportional zur Entwicklung der Emissionen, wobei ζ die Temperaturreaktion auf Emissionen (TCRE) darstellt

$$T = T_{\text{initial}} + \zeta \int_0^t E\,dt = \zeta S \tag{4}$$

Hierbei entspricht der Bestand kumulativer Emissionen S dem Integral der periodischen Emissionen E (oder, in anders ausgedrückt $E = \dot{S}$). Die periodischen Emissionen ergeben sich aus dem Bestand an fossilen Kapitalien K_d, multipliziert mit der Emissionsintensität ϕ des Kapitals:

$$E = \phi K_d \tag{5}$$

2. Kapitaldynamik und Desinvestment

Das replizierte Modell unterscheidet sich zum straw man Modell in einem Punkt, es integriert Investmentkosten. Investmentkosten sind eine konvexe Funktion des investierten Kapitals. Da im replizierten Modell keine Haushalte enthalten sind, werden auch keine Investitionsentscheidungen getroffen. Anstatt daher wie in Gleichung (13) des originalen Papiers die Investitionskosten als eine konvexe Funktion des Investments zu modellieren, werden die Investmentkosten hier als konvexe Funktion des zu den jeweiligen Kapitalstöcken K_d und K_c allokierten Teils des Outputs modelliert. Die Allokationsentscheidung des Sparanteils θ entsteht über die Kontrollvariable φ. Daher lässt sich die Allokation i_j des Sparbetrages zu einem Kapitalstock wie folgt beschreiben.

$$i_d = \theta\varphi Y \tag{6}$$

$$i_c = \theta(1-\varphi)Y, \quad \varphi \in [-1, 1] \tag{7}$$

Die Begrenzung von φ auf diese Intervall hat den Zweck, dass es möglich ist, dass φ negative Werte annimmt. In diesem Fall wird i_d negativ, was einem Desinvestment aus dem fossilen Kapital bedeutet. Zugleich wird dieses Desinvestment dann grünem Kapital zugeteilt ($1 - \varphi$ wird größer als eins). Desinvestment verursacht jedoch Kosten, welche gleich beschrieben werden. Diese abgebildete Allokation bildet die Grundlage für die Investmentkostenfunktion

$$\iota_j = \frac{\chi i_j^2}{k_c + k_d} \tag{8}$$

Die Kapitaldynamiken ergeben sich damit wie folgt. Für $\varphi > 0$

$$\dot{K}_d = \theta\varphi Y - \iota_d - (\delta + g)k \tag{9}$$

$$\dot{K}_c = \begin{cases} \theta(1-\varphi)Y - \iota_c - (\delta + g)k & \text{wenn } \varphi \geq 0 \\ \theta(1-\varphi)Y - \iota_c - (\delta + g)k - \kappa & \text{wenn } \varphi < 0 \end{cases} \tag{10}$$

κ wird benötigt, um die Kosten abzubilden, die bei einem Transfer von fossilen Kapital zu grünen Kapital stattfinden, wie etwa Abreißkosten. Ohne κ würden 100% des Desinvestments aus fossilen Kapital in grünes Kapital fließen. Daκ eine konvexe Funktion des Desinvestmentbetrages ist, entsteht eine Trägheit bei der Konversion von fossilen zu grünen Kapital.

$$\begin{cases} \kappa = \frac{\theta_1 |\varphi|_2^{\theta}}{k} & \text{wenn } \varphi < 0 \\ \kappa = 0 & \text{wenn } \varphi \geq 0 \end{cases} \tag{11}$$

θ_1 und θ_2 sind Skalierungsparameter. Da $|\varphi| \leq 1$ muss die Konvexität von κ in φ mit θ_2 bestimmt werden. Zur Analyse der Konvexität betrachten wir die zweite Ableitung von $\kappa(\varphi)$, wobei angenommen wird, dass die Bedingung $\varphi < 0$ hält, um die Ableitung zu vereinfachen:

$$\frac{d^2\kappa}{d\varphi^2} = \frac{\theta_1\theta_2(\theta_2 - 1)(-\varphi)^{\theta_2 - 2}}{k} \tag{12}$$

Eine Funktion ist dann konvex, wenn die zweite Ableitung nicht negativ ist. Da $-\varphi > 0$ für $\varphi < 0$, ist diese Ableitung positiv, wenn $\theta_2 < 1$, was die Konvexität von $\kappa(\varphi)$ gewährleistet. Um also κ in φ konvex zu halten, muss $\theta_2 \leq 1$ gelten. Die Kallibrierung der Parameter wird im Appendix besprochen.

3. <u>Gestrandete Ressourcen</u>

   Ein wichtiger Bestandteil des originalen Papiers ist die Existenz von gestrandeten Ressourcen/Kapitalien (stranded assets) durch das Desinvestment aus fossilen Kapitalien. Da im Papier keine formale Definition von stranded assets bereitgestellt wird, muss die verbale Definition analysiert werden. Die entsprechenden Texstellen befinden sich auf Seite 10 und 36. Die Aussage auf Seite 10 ist, dass nicht 100% der aus fossilen Kapitalien entnommenen Ressourcen erhalten werden können. Diesen Zweck erfüllt κ. die Summe an Kapital im Zähler müsste kleiner werden als der Nenner, so dass $\kappa \geq 1$ gilt. Die Übernahme der originalen Kallibrierung des Startkapitals ergibt, dass der Nenner der Zahl 348 entspricht. Es muss also gelten, dass $\theta_1 |\varphi|_2^{\theta} \leq 348$. Dies ist der Fall, wenn $\theta_1 \leq \frac{348}{|\varphi|^{\theta_2}}$. Wenn $\theta_2 \leq 1$ gelten muss und $0 \leq |\varphi| \leq 1$ definiert ist, kann im Extremfall $|\varphi|^{\theta_2}$ maximal 1 und mindestens 0 sein. Entsprechend muss immer $\theta_1 \leq 348$ gelten. Nachdem κ besprochen wurde, muss noch die Beziehung zwischen stranded assets und κ analysiert werden, um stranded assets formal definieren zu können. Auf Seite 36 wird ausgesagt, dass mit kumulativen Disinvestment kumulative stranding costs einhergehen. Wir wissen bereits, dass nicht 100% konvertiert werden können, wodurch das Ausmaß durch κ bestimmt wird. Folglich kann man behaupten, es sei die Intention der Autoren, dass gilt:

$$\kappa \int_0^t i_d(t)\, dt, \quad \text{für} \quad i_d \leq 0 \quad \equiv \quad \int_0^t \text{stranded assets}(t)\, dt$$

Daher scheint die Annahme, dass die Veränderungen der beiden Funktionen ebenfalls gleich sind