

DISS. ETH NO. 24119

# Policies for Sustainable Development through the Lens of Endogenous Growth

A thesis submitted to attain the degree of  
Doctor of Sciences of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

CHRISTOS KARYDAS

M.Sc. Energy Science and Technology, ETH Zurich

born on 10.06.1985

citizen of Greece

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Lucas Bretschger

Prof. Dr. Hans Gersbach

2017

# Thesis Summary

Nowadays the concept of sustainable development demands a shift from an economy of quantity to one of quality. Limited fossil energy resources available for production, along with the imminent threat of man-made climate change - due to the over-use of polluting fossil fuels - point towards greater investment in non-material inputs like technology, knowledge, and human capital. The target is to redirect the economy towards and along the sustainable path. Modern economic thinking, represented by the new growth theory, rejects earlier Malthusian doomsday scenarios when resources are depleted, and describes ways in which sustainability can be achieved endogenously.

Climate policy is key to sustainable development. However, in a world where an action only occurs if its marginal benefit does not fall short of its marginal cost, we should start questioning whether our costs and benefits are correctly measured. If non-diminishing economic growth is what we are after, can this co-exist with an environmental policy that reduces the use of one of the primary inputs to production, namely fossil fuels? Have we put all the components in place when pricing polluting non-renewable resources? How should we best redirect economic activity towards green innovation and restore its correct intensity? Each chapter of this thesis employs endogenous growth theory to respond to one or more of these questions.

The first chapter introduces the concepts of sustainability, the energy-growth nexus, and the modern economic tools that can lead to sustainable development

despite the depletion of primary inputs to production, namely fossil fuels. It also discusses the policies that can be implemented to redirect economic activity but also missing components, when designing such policies.

The second chapter deals with an environmental tax reform (ETR) policy in a real growing economy. This policy aims at reducing the burden of welfare distorting taxation by redistributing revenues from taxation on environmentally damaging activities. Another positive outcome is that it may redirect investments towards green innovation, leading to enhanced growth. For our purposes we will focus on the case of Switzerland, which has decided to implement an ETR from 2021. The analysis features both a theoretical and a numerical section. In the theoretical section, input reallocation between manufacturing and R&D may allow for enhanced growth if certain conditions are met. We then apply the core theoretical model to the economy of Switzerland and find that a boost to economic growth following such a carbon policy is a possible outcome. Redistribution of additional carbon tax revenues by lowering capital taxation performs best in terms of aggregate welfare, while in terms of equity among social segments the progressive character of lump-sum redistribution fails for very high emission reduction targets.

One of the important characteristics of sustainability policies is that they necessitate consideration of a very long time horizon. Myopic political decisions, mostly taken upon current observations, are likely to downplay the effects of our actions on future generations. Therefore, chapters 3 and 4 of this thesis deal with the inclusion of time lags in the diffusion of general information, as discussed below.

The third chapter is concerned with climate change stemming from the over-use of polluting non-renewable resources, its destructive effects on our capital stock, and the optimal carbon tax that can put the economy back on the sustainable track. Its main contribution is to introduce and explore the natural time lag of the climate system between emissions and damages to capital accumulation. This allows us to investigate how optimal climate policy, and its interplay with climate dynamics, affect long-run growth and the transition of the economy towards it.

Poor understanding of the emissions diffusion process leads to suboptimal carbon taxes, resource extraction and growth.

Redirecting investment towards green technology and knowledge accumulation is very important for our sustainable development. Moreover, private R&D is undertaken at a lower-than-optimal level due to externalities associated with knowledge spillovers. Therefore, chapter 4 asks how governments should best allocate their budget to support private research activities. The consensus in the literature is that sector-specific R&D support policies should be increasing in the degree of compatibility of sectoral innovation with the practices of the wider economy. Using a multi-sector endogenous growth model with in-house R&D and knowledge spillovers, it is shown that accounting for the time it takes for knowledge to diffuse modifies this widely-accepted result.

# Kurzfassung

Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung erfordert eine Abkehr von quantitativem zu qualitativem Wachstum. Limitierte fossile Energiequellen und die unmittelbar bevorstehende Bedrohung durch den vom Menschen verursachten Klimawandel aufgrund der Übernutzung von fossilen Energieressourcen erfordern einen Richtungswechsel der Wirtschaft zu einem nachhaltigen Wachstumspfad. Dafür rücken Investitionen in nicht-materielle Inputs wie Technologie, Wissen und Humankapital in den Fokus. Modernes Wirtschaftsdenken steht im Gegensatz zu früheren malthusianischen Katastrophenszenarien, wo Ressourcenbestände komplett erschöpft werden. Die neuen Wachstumstheorien beschreiben stattdessen verschiedene Möglichkeiten, wie endogene Faktoren zu einer nachhaltigen Entwicklung führen können.

Klimapolitik ist ein zentraler Treiber von nachhaltiger Entwicklung. In einer Welt, wo eine Handlung nur erfolgt, wenn der Grenznutzen höher ist als die Grenzkosten, müssen wir uns jedoch die Frage stellen, ob Kosten und Nutzen richtig kalkuliert werden. Kann nicht-abnehmendes wirtschaftliches Wachstum einhergehen mit einer Umweltpolitik, die den Verbrauch eines primären Produktionsinputs, nämlich fossilen Energien, reduzieren will? Sind alle Komponenten einberechnet, wenn wir für umweltschädliche, nicht-erneuerbare Energieressourcen einen Preis bestimmen? Wie können ökonomische Tätigkeiten am besten in die Richtung gelenkt werden, sodass sie zu saubereren Innovationen führen und so die richtige Wirtschaftsintensität wiederhergestellt werden kann? Jedes Kapitel dieser Doktorarbeit beantwortet eine oder mehrere dieser Fragen mittels endogener Wachs-

tumstheorie.

Das erste Kapitel gibt eine Einführung zum Konzept der Nachhaltigkeit, dem Zusammenhang zwischen Energie und Wachstum und den modernen ökonomischen Instrumenten, die nachhaltige Entwicklung fördern können trotz dem Verbrauch von primären Produktionsfaktoren, wie fossilen Energieressourcen. Es werden einige Politikmassnahmen vorgestellt, welche zu nachhaltigeren ökonomischen Aktivitäten führen können, aber auch fehlende Komponenten bei diesen Ansätzen.

Im zweiten Kapitel wird eine ökologische Steuerreform als politische Massnahme in einer wachsenden Volkswirtschaft diskutiert. Diese Massnahme hat zum Ziel, die Wohlfahrtsminderung durch allgemeine Steuern zu senken, indem stattdessen Steuern auf umweltschädlichen Tätigkeiten erhoben werden. Ein weiteres positives Resultat ist, dass Investitionen in eine saubere Richtung getätigt werden und so das Wachstum antreiben. In dieser Arbeit fokussieren wir auf die Schweiz, welche entschlossen hat, eine ökologische Steuerreform per 2021 einzuführen. Die Analyse umfasst sowohl einen theoretischen als auch einen empirischen Teil. Eine Neuverteilung der Inputfaktoren zwischen Herstellung und F&E führt unter gewissen Konditionen zu grösserem Wachstum. Basierend auf dem theoretischen Modell untersuchen wir anschliessend die möglichen Auswirkungen auf die Schweizer Wirtschaft. Ich zeige, dass ein Wirtschaftswachstum mit einer solchen CO<sub>2</sub>-Steuer möglich ist. Eine Umverteilung durch Kapitalsteuerung resultiert im höchsten aggregierten Wohlstand. Was die Fairness zwischen verschiedenen sozialen Schichten betrifft, eine Lump-Sum Umverteilung führt die progressive Ausgestaltung gleichzeitig nicht zu enorm hohen Emissionsreduktionszielen.

Eine wichtige Besonderheit von Nachhaltigkeitsmassnahmen ist, dass sie einen sehr weiten Zeithorizont beachten müssen. Kurzsichtige politische Entscheidungen, die oftmals nur auf aktuellen Beobachtungen basieren, führen dazu, dass die Auswirkungen unseres Handelns auf zukünftige Generationen zu wenig berücksichtigt werden. Aus diesem Grund widmen sich Kapitel drei und vier dieser Doktorarbeit dem Einbezug der Zeitkomponente im Bezug auf die Verbreitung von Informatio-

nen, wie unten diskutiert.

Im dritten Kapitel befasse ich mich mit dem Klimawandel aufgrund der Übernutzung von umweltschädlichen, nicht-erneuerbaren Ressourcen und deren vernichtenden Effekt auf unseren Kapitalstock. Anschliessend diskutiere ich die optimale CO<sub>2</sub>-Steuer, welche die wirtschaftlichen Aktivitäten zurück auf einen nachhaltigen Wachstumspfad führen kann. Der zentrale Beitrag ist die Einführung und Untersuchung einer natürlichen zeitlichen Verzögerung der Klimaveränderungen aufgrund von Emissionen und Verlusten bei der Kapitalakkumulation. Dies erlaubt uns zu untersuchen, wie sich eine optimale Klimapolitik und ihr Zusammenspiel mit den Dynamiken des Klimas auf das langfristige Wachstum und die Übergangszeit auswirken. Ungenügendes Verständnis der Emissionsverbreitung führt zu einer suboptimalen CO<sub>2</sub>-Steuer, übermässiger Ressourcenextraktion und nur geringem Wachstum.

Der Richtungswechsel zu Investitionen in saubere Technologien und Wissensakkumulation ist enorm wichtig für eine nachhaltige Entwicklung. Investitionen vom Privatsektor in F&E sind jedoch zu niedrig aufgrund von Externalitäten in Verbindung mit spillover-Effekten. Kapitel vier diskutiert deshalb, wie eine Regierung öffentliche Mittel optimal einsetzt, um private Forschung zu unterstützen. Der allgemeine Konsens in der Literatur ist, dass sektorspezifische F&E-Unterstützungsmassnahmen erhöht werden sollen – abhängig von der Kompatibilität einer Innovation in einem Sektor mit den anderen Wirtschaftssektoren. Mit einem endogenen Multi-Sektor-Wachstumsmodell und firmeninterner F&E zeige ich, dass sich das allgemein akzeptierte Resultat verändern kann, wenn eine Zeitkomponente im Bezug auf die Wissensverbreitung eingeführt wird.