



GUTENBERG SCHOOL OF
MANAGEMENT
& ECONOMICS



Johannes-Gutenberg Universität Mainz
Bachelor of Science in Wirtschaftswissenschaften

Makroökonomik I

Wintersemester 2016/ 17

Klaus Wälde (Vorlesung), Dennis Krieger und Tutoren (Tutorien)

www.macro.economics.uni-mainz.de

13. Januar 2017

Teil V

Umweltökonomik

16 Die zentralen Fragestellungen

16.1 Fakten

16.1.1 Ökonomie und die Umwelt

- Die Diskussion um Umweltverschmutzung ist fast so alt wie die Menschheitsgeschichte
- Ab dem ersten Moment der Energieumwandlung (Verwendung von Feuer) entstanden Emissionen (Abgase, Abwasser, Lärm, Licht) mit der entsprechenden Belastung von Luft, Wasser und Boden
- Belastung mag
 - ein Problem sein an sich oder
 - negative Effekte auf Menschheit haben (direkt oder über Nahrungskette)
- Politische Bedeutung gewann die Idee der Umwelterhaltung in den 1970ern
 - Limits to growth (Club of Rome, 1972)
 - Saurer Regen
 - Anti-Atomkraft-Bewegung
 - Entstehen von politischen Bewegungen und Parteien (Greenpeace, 1971, Die Grünen, 1980)

- Club of Rome (1972) Limits to growth

„Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht“

- Erste umfassende Kritik am exponentiellen Wirtschaftswachstum

16.1.2 Die aktuelle Diskussion

- Weltklimaberichte
 - Werden **seit 1990** erstellt vom **Weltklimarat IPCC** ('Intergovernmental Panel on Climate Change')
 - 5. Sachstandsbericht veröffentlicht zwischen September 2013 und November 2014 (IPCC, 2014)
- UN-Klimakonferenzen ('United Nations Climate Change Conference')
 - Politische Konferenzen zum Verständnis des und Reaktion auf den Klimawandel
 - Erste Konferenz: 1995
 - Bekannteste Konferenz: Kyoto, Japan, 1997. Das Kyoto-Protokoll beschloss einen Rückgang des Ausstoßes von Treibhausgas durch Industrieländer bis 2012 um ca 5% relativ zu 1990
 - Lima, 2014. Erste Vertragsentwürfe, an denen alle Länder (auch USA) teilnehmen würden
 - September 2016: China und USA **treten UN-Klimabkommen bei**

- Das Problem der globalen Erwärmung
 - In den Jahren 2013 und 2014 veröffentlichte der **Weltklimarat IPCC** den **fünften Sachstandsbericht** über die aktuelle Lage, die Folgen sowie mögliche Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels
 - Hauptursache: Freisetzung (durch menschliche Aktivitäten) von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlenstoffdioxid (IPCC, 2014, **Summary for Policy Makers**, p. 3)
 - “Human influence on the climate system is clear, and recent anthropogenic emissions of greenhouse gases are the highest in history. Recent climate changes have had widespread impacts on human and natural systems” (IPCC, 2014, Summary for Policy Makers, p1)
 - Folgen für Natur:
 - Wirtschaftliche und soziale Folgen:

- Drei Beispiele
 - Aussterben von Amphibien durch Pilzbefall bei höheren Temperaturen (Pounds et al. 2006)
 - Der Meeresspiegel steigt (sicher) um 1,2 Meter in 300-400 Jahren (Mouginot, Rignot und Scheuchl, 2014a, b)
 - Erosion der Küsten (see 'costal erosion' in The New York Times)



Abbildung 108 *Globale Erwärmung und Abschmelzen des Eises in der Arktis*

16.1.3 Einige Zahlen

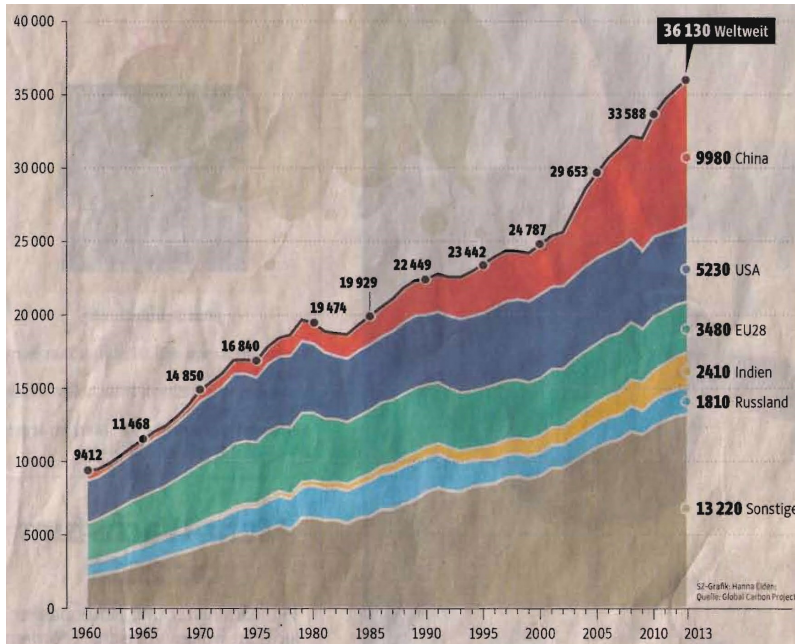


Abbildung 109 Weltweite CO₂-Emissionen in Millionen Tonnen, 1960 bis 2013. Quelle: Süddeutsche Zeitung September 2014 – *Druckbare Version*

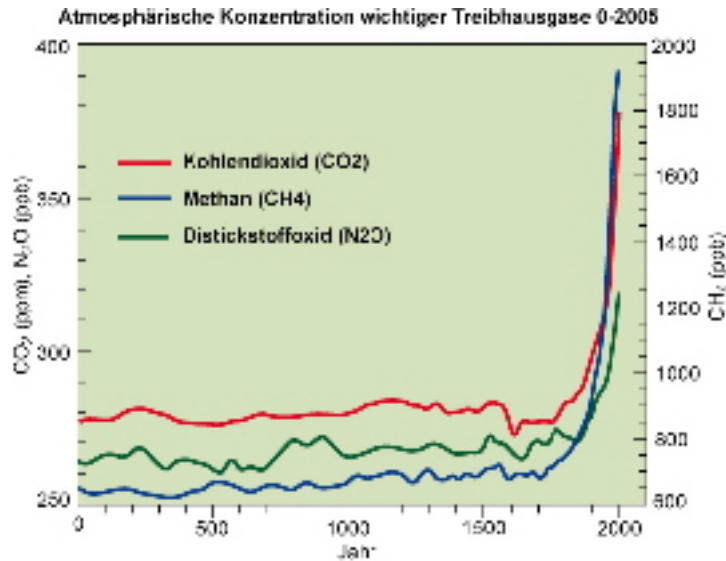


Abbildung 110 Konzentration von Treibhausgasen seit dem Jahr 0. Quelle: wiki.bildungsserver.de/klimawandel nach IPCC (2007): *Climate Change 2007, Working Group I: The Science of Climate Change, FAQ 2.1, Figure 1*

- Vergleiche dazu Abbildung 13 zum Wirtschaftswachstum

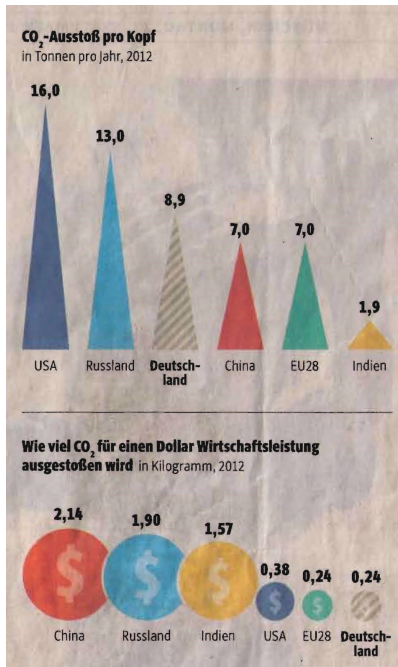


Abbildung 111 *CO₂ Emissionen pro Kopf und pro produzierter Einheit* Quelle: Süddeutsche Zeitung September 2014 – *Druckbare Version*

16.1.4 Technische Lösungen?

- Klimabeeinflussung ('climate engineering')
 - großskalige technische Eingriffe in das Klimasystem der Erde (**Sondierungsstudie Climate Engineering**, Kiel-Earth-Institute, 2011)
 - Zwei zentrale Verfahren: CO₂-Entfernung ('Carbon Dioxide Removal') und Strahlungsverwaltung ('Radiation Management') mit **verschiedenen Ansätzen**
- Überwiegend skeptische Einschätzung aktuell
 - siehe z.B. Ausschuß für Bildung, Forschung und Technikfolgeabschätzung des Bundestags (**Pressemitteilung** und **Bericht**, 2014)
 - Auch deswegen im folgenden nun die ökonomische Sichtweise

16.2 Die Fragen

- Die Endlichkeit des Systems Erde
 - Gibt es
 - Führt die Endlichkeit natürlicher Ressourcen zu einem Ende wirtschaftlichen Wachstums?
 - Welche Rolle spielen *nicht-erneuerbare* Ressourcen im Wirtschaftswachstum?
- Die globale Erwärmung
 - Was versteht man unter
 - Kann etwas gegen die globale Erwärmung unternommen werden?
 - Welche Rolle spielen *erneuerbare* Ressourcen im Wirtschaftswachstum?

17 Die ökonomische Analyse I: Endliche Ressourcen und unendliches Wachstum?

17.1 Das grundsätzliche Argument

- Die (vermeintlichen) Grenzen des Wachstums
 - Die Erde hat eine endliche Menge an natürlichen Ressourcen (Öl, Erdgas, Kohle, Wasser)
 - Solange Wirtschaftswachstum natürliche Ressourcen benötigt, muss Wirtschaftswachstum enden, sobald natürliche Ressourcen enden

- Das ökonomische Gegenargument I

-

- Aus einer Einheit natürlicher Ressource wird immer mehr Input für den Produktionsprozess gewonnen
 - Ein Rückgang natürlicher Ressourcen kann durch Effizienzsteigerung bei deren Verwendung kompensiert werden
 - Kraftstoffverbrauch je 100 km nahm zwischen 2000 und 2008 von 8,3 auf 7,6 Liter ab (8,3%) – siehe [Statistisches Bundesamt](#)

- Das ökonomische Gegenargument II

-

- Statt natürlicher (endlicher) Ressourcen werden erneuerbare Energiequellen verwendet
 - Statt Erdölheizungen gibt es Heizungen, die Holz (-pellets) verwenden
 - Statt Strom aus Kohlekraftwerken gibt es Solaranlagen

17.2 Ein Modell

17.2.1 Die grundsätzliche Problematik

- Produktion verlangt nach Energie (Ressourcen $R(t)$) ...

- Die Produktionsfunktion lautet also

$$Y(t) = K(t)^\alpha L^\beta R(t)^{1-\alpha-\beta} \quad (17.1)$$

- $Y(\cdot)$ hat abnehmende Grenzerträge in Produktionsfaktoren

- neu aufgenommen in die Modellierung: $R(t)$

- ... aber von den Ressourcen gibt es nicht unendlich viel

- Wir betrachten also nicht-erneuerbare Ressourcen

- im Gegensatz zu erneuerbaren Ressourcen

- Der Bestand an nicht-erneuerbaren Ressourcen ist $S(t)$ (wie 'stock') und folgt

$$\dot{S}(t) = -R(t) \quad (17.2)$$

- Die Abnahme des Bestands ist also durch den Verbrauch $R(t)$ gegeben

- Natürlich (im wahren Sinn des Wortes) gilt $S(t) \geq 0$ für alle t

- Kapitalakkumulation

- unveränderte Modellierung
- Kapital kann durch Ersparnis aufgebaut und vermehrt werden

$$\dot{K}(t) = Y(t) - \delta K(t) - C(t) \quad (17.3)$$

- Präferenzen der Haushalte

- Feste Sparquote s , d.h. $C(t) = (1 - s)Y(t)$
- Konstanter Verbrauch der natürlichen Ressource

$$R(t) = R \quad (17.4)$$

- Die Fragen

- Wenn Ressourcen $R(t)$ wesentlich sind, wird langfristig positive Produktion und damit Konsum möglich sein?
- Oder führt der Verbrauch der natürlichen Ressourcen zu einem
- siehe Groth (2006, 2007, sect. 3) und die Referenzen dort

17.2.2 Die langfristige Produktionsmenge

- Wie entwickelt sich der Bestand an natürlichen Ressourcen?

- Der Bestand folgt $\dot{S}(t) = -R$
- Damit ist der Bestand

$$S(t) = S_0 - Rt$$

und somit

- Wie hoch ist die Produktion bei $S = 0$?

- Ohne natürliche Ressourcen ist auch der Verbrauch gleich Null, $R = 0$
- Für die Cobb-Douglas Produktionsfunktion aus (17.1), d.h. für $Y = Y(t) = K(t)^\alpha L^\beta R(t)^{1-\alpha-\beta}$ folgt

$$Y = 0$$

- Wenn Ressourcen *essentiell* sind für die Produktion, dann gibt es langfristig

17.2.3 Technologischer Fortschritt

-
- Betrachten wir eine Produktionsfunktion

$$Y(t) = K(t)^\alpha L^\beta [A(t) R(t)]^{1-\alpha-\beta}$$

die Effizienzsteigerungen durch $A(t)$ abbildet

- Die Produktivität des Ressourceneinsatzes wächst mit einer Rate von g

$$A(t) = A_0 e^{gt}$$

- Effektiver Ressourcenverbrauch bleibt weiterhin bei R , wie oben in (17.4)

$$A(t) R(t) = R \tag{17.5}$$

- Der Bestand an natürlichen Ressourcen entwickelt sich weiter wie in (17.2), d.h.

$$\dot{S}(t) = -R(t) = -\frac{R}{A(t)} = -\frac{R}{A_0} e^{-gt}$$

wobei nun allerdings die Entnahme $R(t) = R/A(t)$ an Rohstoffen wegen (17.5) sinkt

- Lösung der Differentialgleichung ergibt

$$S(t) = S_0 + \frac{R}{gA_0} [e^{-gt} - 1]$$

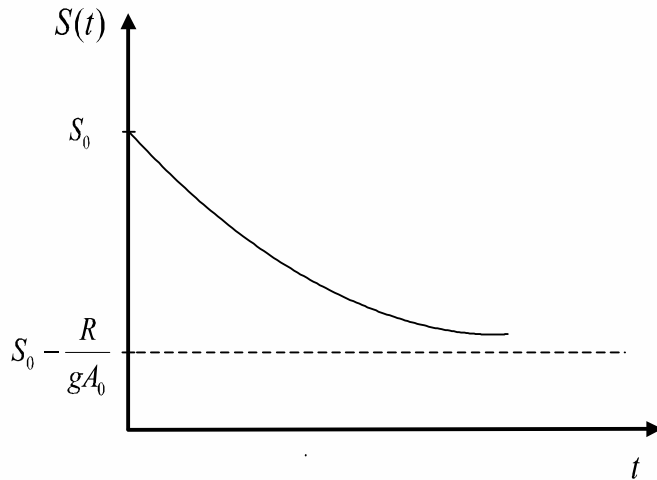


Abbildung 112 *Der Bestand an natürlichen Ressourcen sinkt bei technologischem Fortschritt mit Rate g auf das Niveau $S_0 - R/(gA_0)$*

- Ist unendliches Wachstum bei endlichen Ressourcen möglich?
 - Ja, wenn $S_0 - R/(gA_0) > 0$, d.h.
 - wenn der langfristige Bestand positiv bleibt
- Dies ist der Fall, wenn
 - der Anfangsbestand S_0 ausreichend hoch ist
 - technologischer Fortschritt ausreichend schnell stattfindet (g ausreichend hoch)
 - Das anfängliche Technologieniveau A_0 ausreichend hoch ist
 - der Bedarf R ausreichend niedrig ist
-
- Unendliches Wachstum ist nicht möglich, wenn eine dieser Bedingungen nicht erfüllt ist

17.2.4 Die Substituierbarkeit natürlicher Ressourcen

- Bisherige Annahme der Cobb-Douglas Produktionsfunktion impliziert
 - eine Substitutionselastizität von 1
 -
- Produktionsprozesse werden empirisch besser beschrieben durch allgemeinere CES Produktionsfunktion
 - Die Produktionsfunktion hat dann eine Struktur wie die Nutzenfunktion (10.1) mit Konsum und Freizeit

$$Y = [\alpha K^\theta + \beta L^\theta + (1 - \alpha - \beta) R^\theta]^{1/\theta}, \theta < 1$$

- Die Substitutionselastizität ε kann dann zwischen 0 und Unendlich liegen

$$\varepsilon = \frac{1}{1 - \theta} > 0$$

- Wenn $R = 0$ folgt

$$Y = [\alpha K^\theta + \beta L^\theta]^{1/\theta} > 0$$

- Grundsätzlich ist es vorstellbar, dass die Produktion

17.3 Zusammenfassung: Grenzen des Wachstums?

- Grenzen sind vorstellbar
- Verschwinden der Grenzen sind auch vorstellbar
 - Effizientere Verwendung endlicher natürlicher Ressourcen
 - Substitution endlicher natürlicher Ressourcen
- Gegenargumente
 - “Ökologische Ökonomen” (vgl. Jackson 2009, Bartmann, 1996) argumentieren, dass auf Grund physikalischer Grenzen ein Subsystem innerhalb eines endlichen Systems nicht unendlich wachsen kann
 - Allein das Entropiegesetzes mache unendliches Wachstum unmöglich (vgl. Georgescu-Roegen, 1986)

- Nächste Schritte (schöne Bachelorarbeiten)
 - Empirische Untersuchung effizienterer Verwendung endlicher Ressourcen – ist die Effizienzsteigerung
 - Konkret: Sinkt also die geförderte Menge an Erdöl wie in (17.5), wenn
 - Empirische Untersuchung zur Substituierbarkeit –
 - Welches Potential haben Solarzellen oder Windkraft im Vergleich zur Verbrennung endlicher natürlicher Ressourcen?
 - Findet die Substitution und Effizienzsteigerung schnell genug statt? Wenn nicht, warum nicht?

18 Die ökonomische Analyse II: Globale Erwärmung und Wirtschaftswachstum

18.1 Das grundsätzliche Argument

- Grenzen des Wachstums
 - aufgrund von knappen Ressourcen scheint also
 - wie vom Club of Rome (1972) beschrieben erscheinen also
- Vielmehr scheint das Problem in der Umweltverschmutzung an sich zu liegen
 - Kann sich die Umweltqualität ausreichend schnell erneuern, gegeben menschliche Emissionen?
 - Das Problem sind also nicht die endlichen sondern
 - Kann das ökologische System den durch Menschen verursachten Ausstoß von Treibhausgasen verkraften oder kommt es zu irreversiblen Schäden an der Umwelt (und damit am Menschen)?

- Sichtweise der Ökonomen: Es liegt ein Problem vor
 - „Recently however it has become clear that limits to growth may not only arise from nature's finite source of raw minerals, but instead from nature's limited ability to act as a sink for human wastes" (Brock & Taylor 2005)
 - "there is far less concern over the ultimate exhaustion of oil or magnesium, and far more concern over air quality, global warming, and the emissions of industrial production" (Brock & Taylor 2005)
 - Im Gegensatz zur Endlichkeit der Ressourcen werden Emissionen als ökonomisches Problem wahrgenommen

- Warum akzeptieren Ökonomen globale Erwärmung so leicht als ökonomisches Problem?
 - Es liegt ein klares Marktversagen vor (vgl. Einführung in die Volkswirtschaftslehre)
 - Quelle des Marktversagens hier: die
 - Definition Externalität: Externalitäten sind Auswirkungen von Konsum- oder Produktionsaktivitäten auf einen anderen Wirtschaftsteilnehmer (also nicht auf den Verursacher), die nicht durch das Preissystem wirken (nach J.J. Laffont, Externalities, New Palgrave Dictionary of Economics)
 - Beispiele: Autoabgase (negativ), Flugzeug- /Bahn- /Auto- /Verkehrslärm (negativ), Impfung gegen ansteckende Krankheit (positiv), Bienenzucht (positiv)
 - Hier: Es fehlt ein Markt für

- Die ökonomische Lösung: Internalisierung externer Effekte
- Wie funktioniert Internalisierung? Durch optimale Steuern (im Sinne von Pigou) oder Verhandlungen (im Sinne von Coase) → klassische Finanzwissenschaft
 - Verhandlungen hier nicht möglich, da Eigentum nicht eindeutig zuordenbar
 - Steuern auf Güter, die negative Externalitäten hervorrufen, erhöhen deren Preis, damit sinkt die Nachfrage nach diesem Gut (fossile Brennstoffe) und verschiebt sich zu anderen Gütern (Solarenergie)
 - Individuen verhalten sich mit optimalen Steuern so, als wären
 - Einschränkung bzw. Besteuerung verschmutzender Aktivitäten (Steuer auf Kraftstoffe) wünschenswert

- Phantastische politische Probleme
 - Meinungsverschiedenheiten bezüglich der Bedeutung der Umweltqualität (Elastizitätsparameter β in der Nutzenfunktion (18.6) weiter unten)
 - Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Effekte von Emissionen
 - Unterschiedliche Ausprägungen des Altruismus (andere Länder, andere Lebewesen)
- Die zentrale Frage
 - Wird ausreichend viel

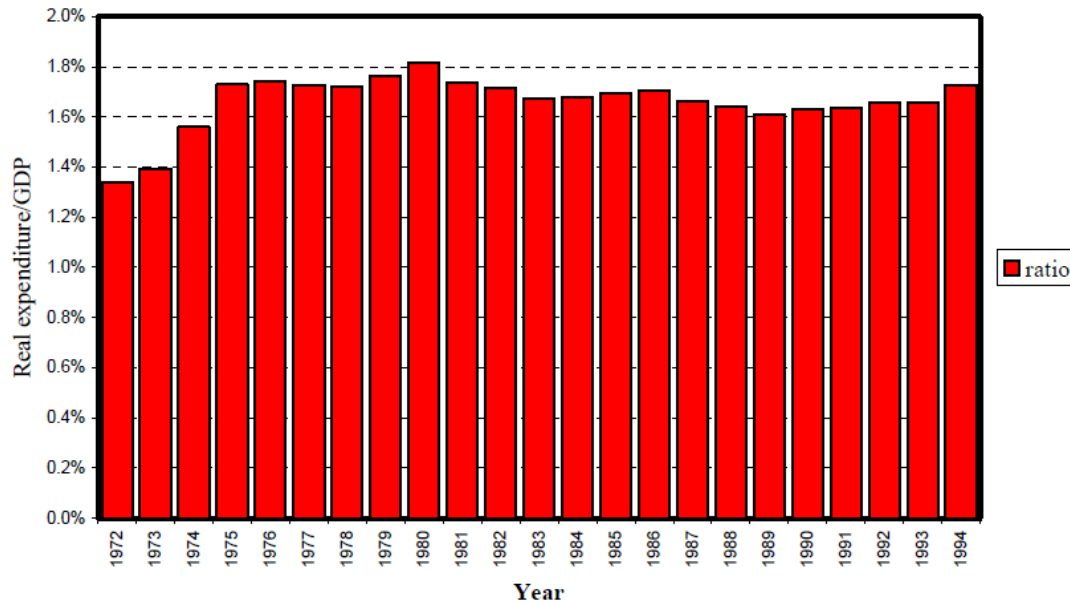


Abbildung 113 *Pollution abatement costs in the USA 1972 - 1994 as share of GDP. Source: Brock & Taylor (2005), Abb. 2*

18.2 Ein Modell

18.2.1 Grundstruktur: endogenes Wachstum

Wachstumstheorie aus Teil I

- Langfristig kein Wachstum des BIP pro Kopf ohne
- (vgl. “Wie wird langfristiges Wachstum erklärt (jenseits des obigen Modells)?” im Abschnitt 3.5.3)
- Keine Erklärung von Wachstumsprozessen über Jahrzehnte
- Fundamentale Frage: Woher kommt das Wachstum $A(t) = A_0 e^{gt}$ das in der neoklassischen Wachstumstheorie einfach so angenommen wird?

Neue Wachstumstheorie

- Entwicklung neuer Ansätze (Ende der 1980er, Anfang der 1990er) zum Verständnis langfristiger Wachstumsprozesse
- Ein solches Modell wird hier verwendet als Analyserahmen für globale Erwärmung
 - Nächster Schritt: Endogenes Wachstum
 - Übernächster Schritt: (Rückkehr zur) Analyse globaler Erwärmung

Das Modell endogenen Wachstums (vergleiche Shell, 1966)

- Produktion des Konsumgutes erfolgt unter Verwendung von Arbeit $L_Y(t)$

$$C(t) = A(t) L_Y(t)$$

- Was erhöht die Arbeitsproduktivität $A(t)$?

$$\dot{A}(t) = \psi A(t) L_A(t) \quad (18.1)$$

deren Produktivität durch $\psi A(t)$ gegeben ist

- Arbeitsmarktgleichgewicht

$$L = L_A(t) + L_Y(t)$$

- Intertemporale Nutzenfunktion (wie immer) eines zentralen Planers

$$U(t) = \int_t^\infty e^{-\rho[\tau-t]} u(C(\tau)) d\tau$$

mit instantaner Nutzenfunktion (fast wie immer, die “−1” fehlt)

$$u(C(\tau)) = \frac{C(\tau)^{1-\sigma}}{1-\sigma} \quad (18.2)$$

- Zielkonflikt: Konsum (L_Y) vs Investition (L_A)

Der Wachstumsprozess

- Wie hoch ist die optimale Wachstumsrate des Konsums? (siehe Tutorium, Aufgabe 19.4.2)

$$g = \frac{\psi L - \rho}{\sigma} \quad (18.3)$$

- Die Arbeitsproduktivität wächst im Optimum ebenfalls mit der Rate g

$$A(\tau) = A_t e^{g[\tau-t]}$$

- Das Konsumniveau ist gegeben durch

$$C(\tau) = \frac{\psi L - g}{\psi} A(\tau)$$

- Das BIP wächst und auch das BIP pro Kopf wächst langfristig
- Die Wachstumsrate g hängt von Entscheidungen der Investoren und damit von wirtschaftspolitischen Rahmenbedingen ab (fundamental andere Sichtweise als im Solow Modell)
- (Frage für fortgeschrittenen Veranstaltungen: Wie ist dies dezentral möglich?)

18.2.2 Wachstum und Emissionen: globale Erwärmung

Die Erweiterung des obigen Modells

- Kehren wir nun zurück zur Frage der globalen Erwärmung
- Ursache der globalen Erwärmung:

$$W(t) = \bar{B}C(t) \quad (18.4)$$

in Abhängigkeit vom Konsumniveau $C(t)$ und von dem (in diesem Abschnitt konstanten) Parameter $\bar{B}$

- Emissionen (z.B. CO_2) sind ein Nebenprodukt des Produktionsprozesses (negative Externalität)
- Der Parameter $\bar{B}$ bildet die Verschmutzungsintensität ab (vgl. Abb. 111 “Wieviel CO_2 wird für einen Dollar Wirtschaftsleistung ausgestoßen?” $\bar{B} = W(t)/C(t)$)

- Grundsätzliches Problem:

$$\dot{Q}(t) = g(Q(t), W(t)) \quad (18.5)$$

- Umweltqualität ändert sich in Abhängigkeit einer Funktion $g(\cdot)$ (s.u. für genaue Spezifikation)
- Umwelt regeneriert sich (eine erneuerbare Ressource) in Abhängigkeit von $Q(t)$
- Emissionen $W(t)$ schaden der Umwelt

- Problem für Menschheit:

$$u(C(\tau), Q(\tau)) = \frac{C(\tau)^{1-\sigma}}{1-\sigma} Q(\tau)^\beta \quad (18.6)$$

- ideeller Wert (“Natur ist nur geschenkt”)
- materieller Wert (Ernährung)
- Schäden durch Wirbelstürme (“hurricane Katrina”, 2005, USA), Hochwasser, Dürren
- Grosse Heterogenität der Auswirkungen (β unterscheidet sich zwischen Individuen), vor allem zwischen Industrie- und Entwicklungsländern

- Emissionen und Umweltqualität:

- Studium Meteorologie, Biologie, Geographie ...
- Was ist Umweltqualität? Qualität für den Menschen, Qualität der Umwelt an sich? Artenvielfalt? Pflanzen pro Quadratmeter? → Definitionsfragen
- Wie entwickelt sich die Umwelt in Abwesenheit des Menschen? Wächst sie unendlich, konvergiert sie zu einer oberen Grenze?

- Emissionen und Umweltqualität:

$$\dot{Q}(t) = Q(t) [Q^{\max} - W(t) - Q(t)] \quad (18.7)$$

- Umweltqualität entwickelt sich in Abhängigkeit von ihrem aktuellen Niveau (Regeneration), einem maximal erreichbaren Wert $Q^{\max}$ und in Abhängigkeit der Emissionen $W(t)$
- Die Umweltqualität bleibt unverändert, wenn sie Null ist oder, für einen Emissionswert $\bar{BC}(t)$ bei Q^*

$$\dot{Q}(t) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} Q = 0 \\ Q^* = Q^{\max} - \bar{BC}(t) \end{cases} \quad (18.8)$$

- Die stationäre Umweltqualität Q^* kann je nach Emissionsintensität $\bar{BC}(t)$

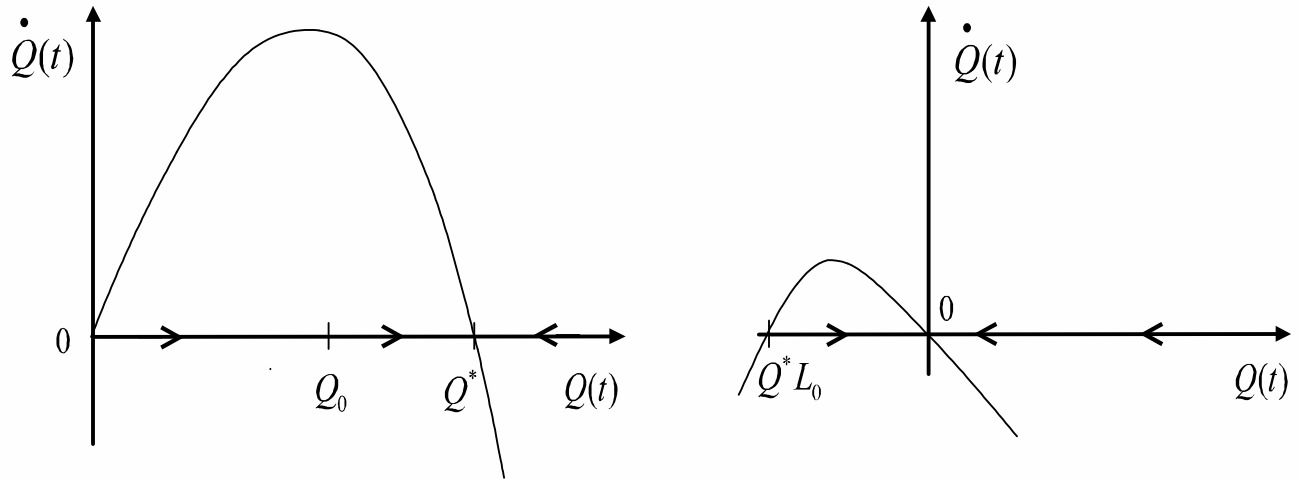


Abbildung 114 Die Dynamik der Umweltqualität in Abhängigkeit der Verschmutzung W^* :
Das “nachhaltige Szenario” links ($Q^* > 0$) und das “Katastrophenszenario” rechts ($Q^* < 0$)

- Emissionen und Umweltqualität: die Intention hinter der Modellierung
 - $Q^{\max}$ ist die maximale Umweltqualität, die erreicht werden kann, wenn keine Emissionen stattfinden, d.h. $W(t) = 0$ (“die Welt ohne die Menschheit”). Die Umweltqualität folgt dann

$$\dot{Q}(t) = Q(t) [Q^{\max} - Q(t)]$$

und ist langfristig durch

-
- Wenn Emissionen in $W(t)$ in (18.7) steigen, dann wandert Q^* nach links und wird negativ
- Grundsätzliche Annahme des Modells (d.h. der Modellierung in (18.7)):

Wachstum und globale Erwärmung

- Wie kann nun der Prozess der globalen Erwärmung verstanden werden?
 - Konsum- und Investitionsverhalten der Haushalte als gäbe es keine Emissionen
 - Die Effekte der Emissionen auf die Umwelt
 - Optimales Verhalten folgt dem Modell endogenen Wachstums vom Abschnitt 18.2.1
 - Die Wachstumsrate von Konsum und Arbeitsproduktivität ist also $g = \frac{\psi L - \rho}{\sigma}$ aus (18.3)
- Wie entwickelt sich die Umweltqualität?
 - Mit (18.4) und (18.7) folgt sie

$$\begin{aligned}\dot{Q}(\tau) &= Q(\tau) [Q^{\max} - \bar{B}C(\tau) - Q(\tau)] \\ &= Q(\tau) [Q^{\max} - \bar{B}C_t e^{g[\tau-t]} - Q(\tau)]\end{aligned}\tag{18.9}$$

- Aus dieser Gleichung wie auch aus Abbildung 114 folgt, dass ab einem
- Die Ökonomie befindet sich dann im “Katastrophenszenario” von Abbildung 114

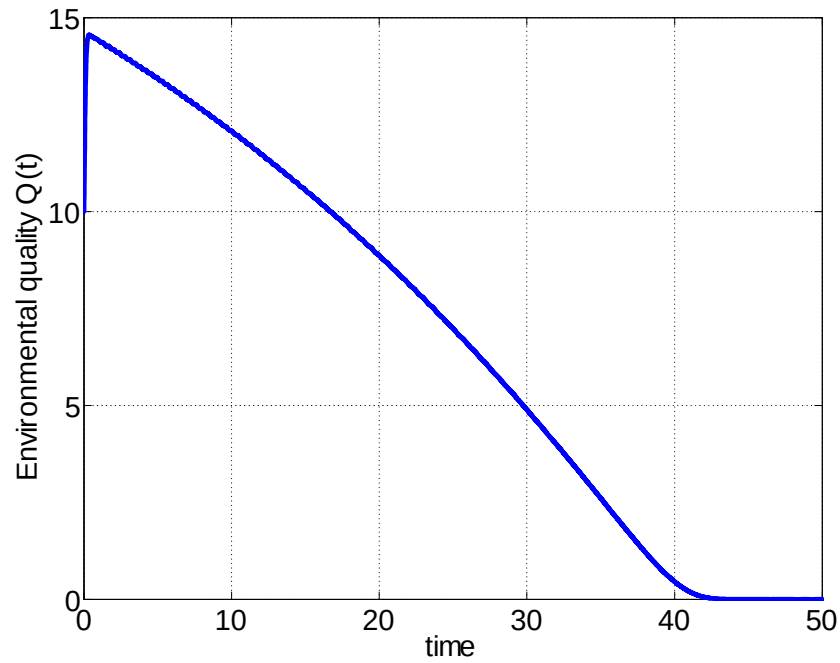


Abbildung 115 *Die Entwicklung der Umweltqualität bei Vernachlässigung der externen Effekte*

Warum steigt die Umweltqualität zunächst, um dann aber auf Null zu fallen?

- Das Steigen der Umweltqualität
 - Betrachten wir Abbildung 114 und nehmen an, wir starten bei einer Umweltqualität von Q_0 (sagen wir die Umweltqualität kurz vor der industriellen Revolution) in der linken Abbildung
 - Ab dem Zeitpunkt der industriellen Revolution (ca 1750) wächst Konsum und Produktion (siehe Abb. 13 zu ökonomischen Wachstum von 0 bis 2000) und damit die Emissionen (siehe Abb. 110 zu Treibhausgasen von 0 bis 2000)
 - Gegeben das geringe Konsumniveau zu diesem Zeitpunkt und die geringen Emissionen ergibt sich zunächst

Warum steigt die Umweltqualität zunächst, um dann aber auf Null zu fallen? (Fortsetzung)

• .

- Bei exponentiell wachsendem Konsumniveau erhöhen sich die Emissionen in (18.4) ebenfalls exponentiell, gegeben die konstante Verschmutzungsintensität $\bar{B}$
- Die Ökonomie bewegt sich also vom nachhaltigen Szenario hin zum nicht-nachhaltigen Szenario
- Ab dem Zeitpunkt, wo die Umweltqualität rechts von Q^* liegt, fällt die Umweltqualität
- (schwer zu datieren, weiteres Denken und empirische Arbeit notwendig, eine Forschergruppe schlägt 1945 vor)
- Im weiteren Verlauf sinkt Q^*
- Die Umweltqualität $Q(t)$

- Was passiert mit dem Nutzen $u(C(\tau), Q(t))$ der Haushalte aus (18.6)?

- Der Nutzen aus Konsum steigt exponentiell

$$\frac{C(\tau)^{1-\sigma}}{1-\sigma} = \frac{(C_t e^{g[\tau-t]})^{1-\sigma}}{1-\sigma} = \frac{C_t^{1-\sigma} e^{(1-\sigma)g[\tau-t]}}{1-\sigma}$$

wobei g die Konsumwachstumsrate aus (18.3) ist

- Die Umweltqualität sinkt (siehe vorherige Abbildung)
- Was passiert also mit dem Gesamtnutzen $u(C(\tau), Q(\tau))$?

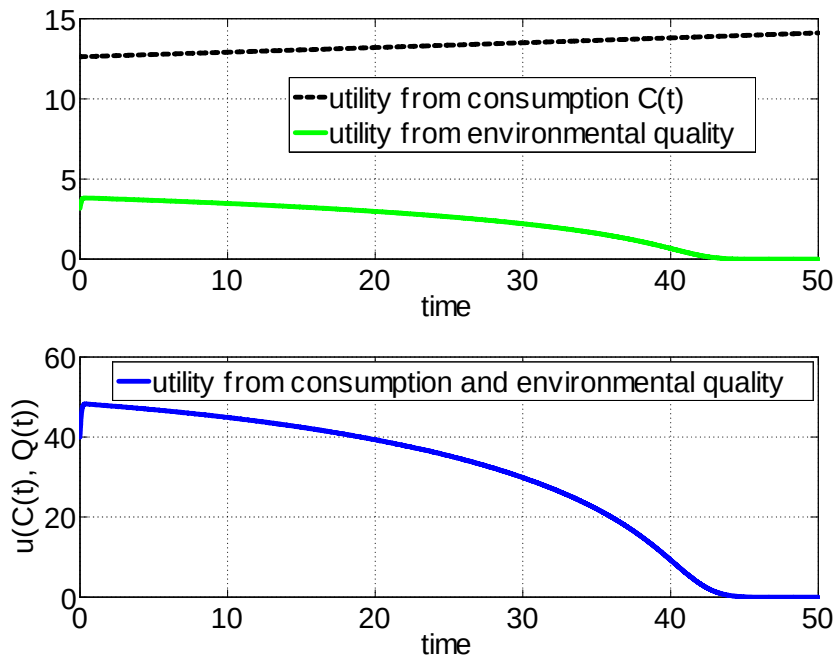


Abbildung 116 Der materielle Nutzen aus Konsum, der Nutzen aus der Umweltqualität und der kombinierte Nutzen $u(C(t), Q(t))$ bei Nicht-Internalisierung externer Effekte

Wo befindet sich die Welt aktuell?

- Die Umweltqualität scheint schon zu fallen (siehe Diskussion oben)
- Die Wirtschaftsleistung (sprich Konsum $C(t)$) wächst
- Die Umweltqualität sinkt
- Allgemeine Interpretation hier: Die Welt aktuell internalisiert negative externe Effekte nicht ausreichend, der kombinierte Nutzen sinkt
- Es wird zu viel Wert gelegt auf
- [die Welt “geht unter”]

18.2.3 Wachstum und Umweltschutz: Internalisierung externer Effekte

- Wir haben nun verstanden, wie wir die Umwelt an die Wand fahren
- Wir ignorieren alle externen Effekte, feiern Party wie auf der sinkenden Titanic und sind überrascht, dass materieller Reichtum nicht einhergeht mit allgemeinen Wohlempfinden
- Geht es auch besser?
- Klar: Alle externen Effekte werden internalisiert und es finden ausreichend Investitionen
- Das Problem der globalen Erwärmung wäre gelöst
- Wie kann dies im Detail funktionieren?

Der Modellrahmen (fast identisch zum vorherigen Abschnitt 18.2.2)

- Präferenzen der Haushalte (wie oben)

$$U(t) = \int_t^{\infty} e^{-\rho[\tau-t]} u(C(\tau), Q(\tau)) d\tau$$

mit

$$f(C(\tau), Q(\tau)) = \frac{C(\tau)^{1-\sigma}}{1-\sigma} Q(\tau)^\beta$$

- Konsumgut (wie vorher)

$$C(t) = A(t) L_Y(t) \tag{18.10}$$

- Arbeitsproduktivität (wie vorher)

$$\dot{A}(t) = \psi A(t) L_A(t)$$

- Entwicklung der Umweltqualität (wie vorher)

$$\dot{Q}(t) = Q(t) [Q^{\max} - B(t) C(t) - Q(t)]$$

- Produktionsexternalität (fast wie vorher)

$$W(t) = B(t) C(t)$$

- Gleiche funktionale Form wie in (18.4)
- Entscheidender Unterschied:

- Die Arbeitsnachfrage resultiert (nicht mehr aus zwei sondern)
 - Produktion des Konsumgutes (L_Y) und Forschung und Entwicklung (L_A) (wie vorher)
 - und Emissionsreduktion (L_B) (neu)
 - Die Gleichheit von

$$L = L_A(t) + L_B(t) + L_Y(t)$$

- Investition in Emissionsreduktion von Treibhausgasen (neu)

$$\dot{B}(t) = -\phi B(t) L_B(t) \quad (18.11)$$

- Beschäftigung von Arbeitnehmern $L_B(t)$ führt zu einem
- alles von Müllvermeidung bis hin zu Produktverboten wie FCKW (Montreal-Protokoll von 1987)
- Produktivität bei Reduktion der Verschmutzungsintensität ist ϕ

18.2.4 Der optimale Wachstumspfad

- Drei Grundsatzfragen
 - Wie bekommen wir ihn
 - Was sind die
 - Was bedeutet er
- Wie bestimmen wir den optimalen Wachstumspfad?
 - Wir betrachten ein (großes) Maximierungsproblem
 - Die Zielfunktion sind die Präferenzen der Haushalte, die Nebenbedingungen sind die Technologien und die Arbeitsmarktbeschränkung
 - Formal: Maximiere $U(t)$ unter den Nebenbedingungen

$$\begin{aligned}\dot{A}(\tau) &= \psi [A(\tau) [L - L_B(\tau)] - C(\tau)] \\ \dot{B}(t) &= -\phi B(t) L_B(t) \\ \dot{Q}(t) &= Q(t) [Q^{\max} - B(t) C(t) - Q(t)]\end{aligned}\tag{18.12}$$

durch die Wahl

- Was sind die Zielkonflikte?
 - Konsum (L_Y) vs Investition (L_A) vs. Umweltqualität (L_B)
 - F&E (L_A) vs. Emissionsreduktion (L_B)
 - Zielkonflikt zweifach komplexer: Berücksichtigung von L_B bei Konsumententscheidung (L_Y) und bei Investitionsentscheidung (L_A)
- Was bedeutet der optimale Wachstumspfad ökonomisch?
 - Die Zielfunktion repräsentiert die soziale Wohlfahrtsfunktion, die durch den zentralen Planer maximiert wird (vgl. Abschnitt 3.4.3)
 - Die Produktionsfaktoren (also $L_B(t)$ vs. $L_Y(t)$ oder $L_B(t)$ vs. $C(t)$, vgl. (18.10)) werden gewählt,
 - Alle externen Effekte (vgl. Definition externer Effekt auf S. 18.2 und Lösungsmöglichkeiten)
 - Gegeben die Eigenschaften der optimalen Faktorallokation kann dann empirisch untersucht werden, wie weit die Welt entfernt ist von
 - Es kann z.B. der optimale Anteil der Ausgaben am BIP für Emissionsreduktion im Modell (Kosten wL_B für Beschäftigte L_B relativ zum BIP) verglichen werden mit tatsächlichen Ausgaben (siehe Abb. 113)

- Was wächst und was wächst nicht auf dem optimalen Wachstumspfad?
 - Betrachte die Entwicklung von TFP $A(t)$, Verschmutzungsintensität $B(t)$ und Umweltqualität $Q(t)$ aus (18.12) und schreibe dies als

$$\begin{aligned}\frac{\dot{A}(\tau)}{A(\tau)} &= \psi \left[L - L_B(\tau) - \frac{C(\tau)}{A(\tau)} \right] \\ \frac{\dot{B}(t)}{B(t)} &= -\phi L_B(t) \\ \frac{\dot{Q}(t)}{Q(t)} &= Q^{\max} - B(t)C(t) - Q(t)\end{aligned}$$

- Auf optimalen Wachstumspfad wächst TFP mit Rate g^{opti} , die Verschmutzungsintensität fällt mit Rate g^{opti} , so dass ...
- Konsum mit Rate g^{opti} wächst und
- die Umweltqualität
- Formal: $\frac{\dot{A}(\tau)}{A(\tau)} = -\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} = g^{\text{opti}}$, $\frac{\dot{Q}(t)}{Q(t)} = 0$
- Investition in Reduktion von Treibhausgasen führt zu materiellem Wachstum bei gleichbleibender Umweltqualität (wir haben “grünes Wachstum”)
- vgl. “CO₂-Ausstoß stagniert seit 3 Jahren” (SZ, 2016)

- Was passiert mit den verschiedenen Nutzenniveaus?

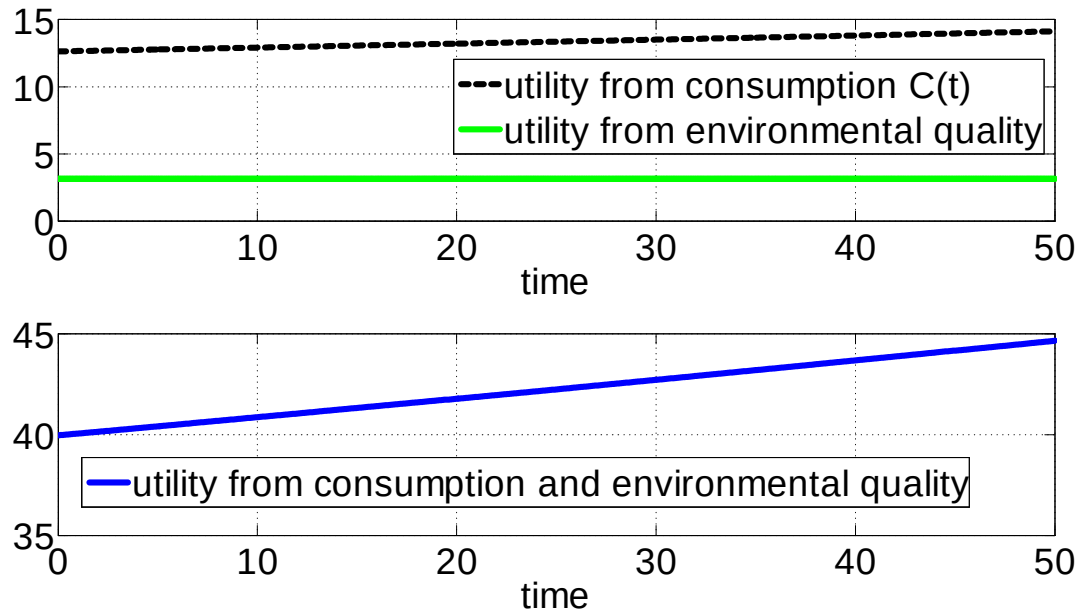


Abbildung 117 Der materielle Nutzen aus Konsum, der Nutzen aus der Umweltqualität und der kombinierte Nutzen $u(C(t), Q(t))$ bei Internalisierung externer Effekte (vgl. Abb. 116)

- Eigenschaften optimalen Wachstums

- Wie hoch ist die Wachstumsrate, wie hoch ist der Konsum, wie viel wird
- Die Wachstumsrate beträgt nun

$$g^{\text{opti}} = \phi \frac{\psi L - \rho}{\psi + \sigma \phi} \quad (18.13)$$

(vergleiche dazu die Wachstumsrate $g = \frac{\psi L - \rho}{\sigma}$ im Modell ohne Internalisierung der externen Effekte)

- Es gibt einen neuen Parameter ϕ und der Parameter ψ erscheint nun zweimal - was bedeutet das?

- Emissionsreduktion und Wachstum

- Nun wird auch in Emissionsreduktion investiert, $L_B = \frac{g^{\text{opti}}}{\phi} > 0$
- Der Parameter ϕ in (18.11) erfasst die Effizienz der Technologie zur Reduktion der Emissionen: umso höher ϕ , umso schneller
- **Ergebnis 1:** Wäre dieser Parameter gleich Null, wäre das langfristige Wachstum gleich Null. Dies zeigt, dass ein
- Warum ist bei konstantem $\bar{B}$ im Modell mit Emission aus Abschnitt 18.2.2 das Wachstum nicht gleich Null? Weil dort die
- **Ergebnis 2:** Wenn der Parameter ϕ steigt, dann steigt
- Was ist das Kalkül dahinter? Bei höherem ϕ kann weniger Arbeit L_B verwendet werden zur gleichen Verringerung der Verschmutzungsintensität $B(t)$
- Somit ist mehr

- Innovation und Wachstum

- Was bewirkt die Produktivität ψ des Innovationsprozesses (18.1) für die Wachstumsrate?
- **Ergebnis 3:** Die Wachstumsrate g^{opti} steigt weiterhin in der Produktivität ψ (siehe Tutorium, Aufgabe 19.4.2)

$$\frac{d}{d\psi} g^{\text{opti}} > 0$$

- Warum steigt die Wachstumsrate in ψ ? Wenn Konsum verschoben wird in die Zukunft, also eine Sparentscheidung getroffen wird, dann erfasst ψL den
- (Vergleiche die klassische Keynes-Ramsey Regel (3.4) im Abschnitt 3.6 zu optimalen Sparen, dort war der Ertrag durch $\partial Y(K, L) / \partial K - \delta$ gegeben)
- umso höher der Ertrag der Konsumverschiebung, umso höher die Wachstumsrate

- Innovation und Wachstum (Fortsetzung)

- **Ergebnis 4:** Die Wachstumsrate steigt nun langsamer in der Produktivität ψ als in einer Welt, wo Externalitäten ignoriert werden

$$\frac{d}{d\psi}g^{\text{opti}} < \frac{d}{d\psi}g$$

Einfach ausgedrückt: eine höhere Produktivität ψ bringt

- Wieso? Wenn in einer Welt mit internalisierten auf Konsum verzichtet wird, dann erlaubt dies im Prinzip höhere Investitionen in Wachstum. Ein Teil davon geht aber in die Reduktion der Verschmutzungsintensität. Somit ist

- Ein Vergleich der optimalen Wachstumsrate g^{opti} mit der Wachstumsrate g ohne Internalisierung
 - **Ergebnis 5:** Die optimale Wachstumsrate ist kleiner als die nicht-internalisierende Wachstumsrate (siehe Tutorium, Aufgabe 19.4.2)

$$g^{\text{opti}} < g$$

- Eine höhere Umweltqualität kommt nur auf
- Aber dafür steigt der Nutzen aus Umwelt und der kombinierte Nutzen steigt über die Zeit
- Der zentrale Planer gibt also
- Ein Teil der Arbeitnehmer (eben L_B) wird verwendet, um die Emissionen auf ein nachhaltiges Niveau (sprich, die Umweltqualität bleibt gleich) zu senken

18.3 Zusammenfassung: Wachstum, globale Erwärmung und Umweltschutz

Wir haben drei Modelle bzw. drei Varianten eines Modelles betrachtet

- Endogenes Wachstum
- Nicht-internalisierte Externalitäten
- Internalisierte Externalitäten

Das Modell endogenen Wachstums

- Endogenes langfristiges Wachstum (im Gegensatz zu exogenem Wachstum bei Solow) resultiert aus
- Im Rahmen eines Modells mit zentralem Planer bekommen wir die optimale Wachstumsrate (18.3) für die Ökonomie, $g = \frac{\psi L - \rho}{\sigma}$
- Dies hat mit Emissionen, Umweltverschmutzung und globaler Erwärmung (erstmal) nichts zu tun

Das Modell mit nicht-internalisierten Externalitäten

- Nun betrachten wir einen (realistischeren) Rahmen, wo der Produktionsprozess
- Die Wachstumsrate ist also weiterhin $g = \frac{\psi L - \rho}{\sigma}$, da die Externalitäten
- Die Verschmutzungsintensität $\bar{B}$ ist konstant, so dass die
- Dies führt zu einem Rückgang der Umweltqualität $Q(t)$ (das “Katastrophenszenario”)
- Der materielle Wachstum steigt zwar, aber de facto geht es Individuen immer schlechter, vgl. Abbildung 116
- Meine aufrichtige, informierte aber mit Unsicherheit behaftete Meinung als Wissenschaftler wäre, dass

Das Modell mit internalisierten Externalitäten

- Hier betrachten wir einen zentralen Planer, der
- Insbesondere werden die Effekte der Emissionen $W(t)$ auf die Umweltqualität $Q(t)$ berücksichtigt
- Die optimale Lösung beinhaltet eine Investition (Beschäftigung von $L_B > 0$) in die
- Als Folge davon bleibt die Umweltqualität
- Insgesamt steigt der kombinierte Nutzen aus Konsum und Umwelt allerdings schneller als in einer Welt, in der Externalitäten ignoriert werden
- Internalisierung externer Effekte ist wünschenswert (in diesem Modell und auch allgemein gesprochen)
- Weitere Referenzen: Bovenberg und Smulders (1995), Nordhaus (1992, 2007), van der Ploeg und Withagen (2013) und viele andere

19 Die Antworten aus makroökonomischer Sicht

19.1 Was waren nochmal die Fragen?

- Die Endlichkeit des Systems Erde: Gibt es unendliches Wachstum in einer endlichen Welt (*nicht-erneuerbare* Ressourcen)?
- Die globale Erwärmung (*erneuerbare* Ressourcen): Was versteht man unter globaler Erwärmung und welche Rolle spielt das Wirtschaftswachstum?
- Kann etwas gegen die globale Erwärmung unternommen werden?

19.2 Die ökonomische Antwort

- Nicht-erneuerbare Ressourcen (Öl, Kohle)
 - Don't worry, be happy
 - Das Wirtschaftssystem weiß, wie es mit knappen Ressourcen umgehen muss
 - (Vielleicht nicht das politisch-militärische System)
 - Höhere Preise führen zu
 - * Investitionen in bessere Verwendung knapper Ressourcen (3-Liter Auto)
 - * Substitution von knappen Ressourcen (Solarenergie)

- Erneuerbare Ressourcen (globale Erwärmung)
 - Grundproblem: Emissionen stellen einen externen Effekt dar, der über den freien Markt nicht angemessen berücksichtigt wird
 - Lösung: Internalisierung der externen Effekte
 - Vorlesung: Zwei bis drei Modelle kennengelernt, die veranschaulichen, was der Unterschied zwischen nicht-internalisierten und internalisierten externen Effekten bedeutet
 - Auch kennengelernt: Möglichkeit empirisch zu messen, ob aktuell tatsächlich ausreichend Internalisierung stattfindet

- Und was kann nun gegen die globale Erwärmung unternommen werden?
 - “Green growth”, also grünes Wachstum (siehe Modell oben mit ausreichend technologischem Wandel zur Reduktion der Emissionen)
 - Wachstumsprozess an sich wird etwas abgedämpft aber nicht fundamental verändert
 - Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Umweltauswirkungen soll ein nachhaltiges Wachstum ermöglichen ohne dabei das Klima und die Umwelt zu gefährden

- Was würde grünes Wachstum zur Erreichung des “Zwei-Grad-Zieles” benötigen?

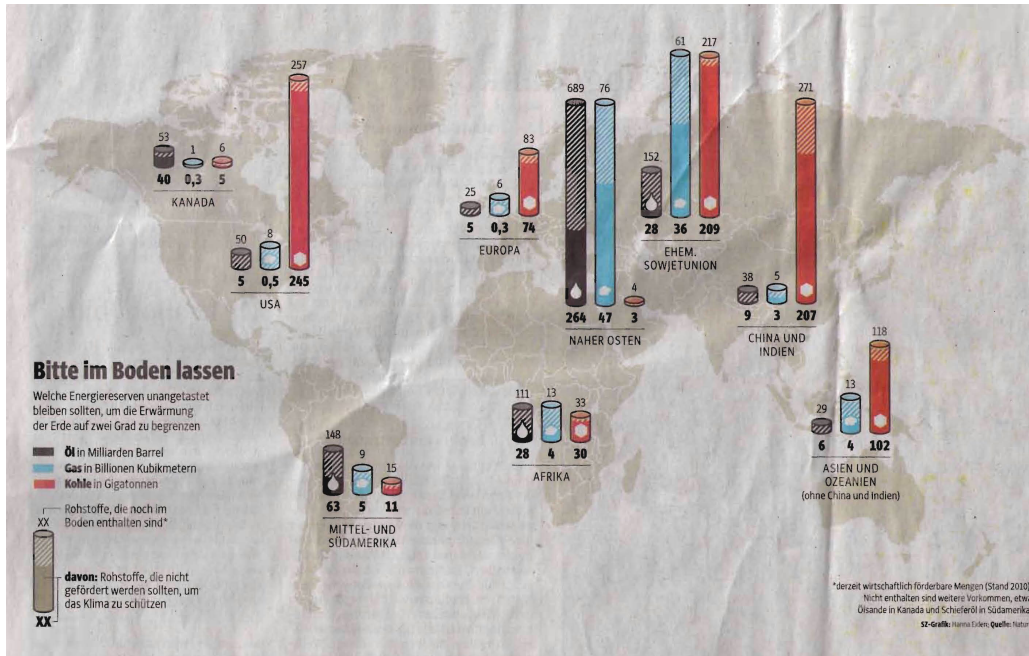


Abbildung 118 *Natürliche Rohstoffe, die nicht verwendet werden sollten. Quelle: Süddeutsche Zeitung vom 8. Januar 2015*

- Ist grünes Wachstum möglich?
 - Empirische Frage, ob es bisher gelungen ist (großer Zweifel, sonst gäbe es keine globale Erwärmung) bzw. ob die Welt ausreichend schnell auf dem Pfad des grünen Wachstums kommt (offene Frage, berechtigter Zweifel)
 - Einige glauben, dass sich das Energie- und Klimaproblem nicht allein mit Effizienz und neuer Technologie lösen lässt und fordern stattdessen eine Abkehr vom ökonomischen Prinzip des Wachstums
 - Vertreter der Postwachstumsökonomie (vgl. Brand 2012, Paech 2012, Welzer 2011) untersuchen alternative Entwicklungsmöglichkeiten für Ökonomie und Gesellschaft, die nicht auf Wachstum im Sinne eines steigenden Bruttoinlandsproduktes, angewiesen sind

19.3 Die ökonomisch-psychologisch-politische Antwort

19.3.1 Was fehlt zu einem nachhaltigen Wirtschaften?

- Ergebnis einer typischen ökonomischen Analyse
 - Aufzeigen von Handlungsoptionen
 - Es ist Aufgabe der Politik, diese umzusetzen (z.B. durch Steuergesetzgebung a la Pigou)
- Dieser Abschnitt geht etwas weiter und fragt, warum
- Es gibt keinen weltweiten zentralen Planer ...
 - Die Welt besteht aus einer Vielzahl von selbständigen Staaten
 - die wiederum aus einer viel größeren Vielzahl von Individuen besteht
 - der Koordinationsprozess zwischen diesen Individuen ist nicht machbar und wird deswegen (in einigen Staaten) delegiert an gewählte Vertreter
 - Im Prinzip übernehmen die Regierungen die Aufgaben des

- ... aber wir kommen dem teilweise relativ nah
 - Auf den Klimakonferenzen treffen sich um die 180 Staaten, die (mehr oder weniger) gemeinsam die Weltklimapolitik festlegen
 - Internationale Externalitäten sollten so stärker berücksichtigt werden, als wenn jeder einzelne Wähler bei der Stimmabgabe an alle Konsequenzen denken muss
- Ein idealistisches Szenario
 - Nehmen wir an, alle nationalen Partialinteressen spielen keine Rolle
 - Nehmen wir weiter an, auf den Klimagipfeln
 - Was ist dann das Problem?

- Die Wähler zuhause
 - Eine Kommission der “American Psychological Association” (Swim et al, 2011) arbeitete
 - Die Fragen lauteten u.a.
 - * Wie verstehen Individuen das Risiko durch die globale Erwärmung?
 - * ...
 - * Welche psychologischen Barrieren beschränken Umkehrmaßnahmen?
 - Individuen müssten u.a. (i) sich der Risiken besser bewusst sein und dies auch emotional erfahren (Angst), (ii) Empathie mit den Hauptgefährdeten globalen Wandels entwickeln, (iii) persönliche Handlungsoptionen identifizieren und (iv) die Thematik präsent halten
 - Ansonsten sind Entscheidungen eines
 - Somit: die Lösung des Problems der globalen Erwärmung liegt in den Händen eines jeden Einzelnen

Das Letzte



19.4 Übungsaufgaben

19.4.1 Nicht-erneuerbare Ressourcen

Die folgende Differentialgleichung beschreibt die Entwicklung des Bestands, $S(t)$, einer nicht-erneuerbaren Ressource

$$\dot{S}(t) = -R(t). \quad (19.1)$$

wobei der effektive Ressourcenverbrauch $A(t)R(t) = R$ ist und die Produktivität des Ressourceneinsatzes, $A(t)$, gegeben einem Anfangsniveau von A_0 mit der Rate g wächst, d.h. $A(t) = A_0 e^{gt}$.

- a) Warum bezeichnen wir (19.1) hier korrekterweise als Differentialgleichung, obwohl sie nicht der allgemeinen Form $d/dt x(t) = f(x(t))$ entspricht?
- b) Erklären Sie die Entwicklung des Ressourcenbestandes verbal. Erläutern Sie hierbei anhand eines Beispiels, wie sich unter den obigen Annahmen der effektive Ressourcenverbrauch und die Rohstoffentnahme entwickeln.
- c) Wie ist die Lösung einer Differentialgleichung definiert? Wie funktioniert die Verifikation einer Lösung?
- d) Prüfen Sie, ob $S(t) = S_0 + \frac{R}{gA_0} [e^{-gt} - 1]$ eine Lösung der Differentialgleichung (19.1) ist.

19.4.2 Ein Modell endogenen Wachstums

Auf dem Gütermarkt erfolgt die Produktion eines Konsumgutes $C(t)$ mittels der folgenden Produktionsfunktion

$$C(t) = Y(t) = A(t)L_Y(t), \quad (19.2)$$

wobei $A(t)$ für die Produktivität körperlicher Arbeit $L_Y(t)$ steht.

Die Entwicklung der Produktivität körperlicher Arbeit folgt der Differentialgleichung

$$\dot{A}(t) = \psi A(t)L_A(t), \quad (19.3)$$

während $L_A(t)$ den Einsatz geistiger Arbeit, bspw. von Entwicklern, beschreibt, deren Produktivität wiederum durch $\psi A(t)$ gegeben ist.

Weiterhin herrsche Vollbeschäftigung, d.h. $L = L_A(t) + L_Y(t)$.

Ein zentraler Planer maximiert die intertemporale Nutzenfunktion

$$U(t) = \int_t^\infty e^{-\rho[\tau-t]} u(C(\tau)) d\tau, \quad (19.4)$$

über die Wahl des Konsumniveaus, wobei der instantane Nutzen als $u(C(t)) = C(t)^{1-\sigma}/(1-\sigma)$ gegeben ist.

- a) Was ist das Besondere an der Produktionsfunktion (19.2) im Vergleich zu der besser bekannten CD-Produktionsfunktion?

- b) Beschreiben Sie den Zielkonflikt des zentralen Planers verbal.
- c) Leiten Sie mittels des Hamiltonianansatzes die optimale Wachstumsrate des Konsums her.
- d) Wofür könnte der Ausdruck ψL stehen? (Hinweis: Ziehen Sie Parallelen zur optimalen Sparentscheidung der Haushalte)

19.4.3 Internalisierung externer Effekte

Nehmen Sie an, der Nutzen eines Individuums i hängt von den konsumierten Mengen, c_X^i und c_Y^i , zweier Konsumgüter und vom Umweltschaden S ab. Dies wird durch die Nutzenfunktion

$$u(c_X^i, c_Y^i, S) = (c_X^i)^\alpha (c_Y^i)^{1-\alpha} S^{-\beta}, \quad \text{mit } 0 < \alpha, \beta < 1, \quad (19.5)$$

dargestellt, wobei α und β Nutzenelastizitäten des Konsums bzw. des Umweltschadens sind.

Nehmen Sie an, der Konsum des Gutes X belastet die Umwelt, der Konsum des Gutes Y hingegen nicht. Daher hängt der Umweltschaden in der gesamten Ökonomie negativ vom Konsum des Gutes X (z.B. Plastiktüten) aller N Individuen in dieser Ökonomie ab,

$$S = \sum_{i=1}^N B_0 c_X^i, \quad (19.6)$$

wobei B_0 die Verschmutzungsintensität einer Konsumeinheit des Gutes X beschreibt. Nehmen Sie an, die Budgetrestriktion des Individuums lautet

$$p_X c_X^i + p_Y c_Y^i = W^i. \quad (19.7)$$

Die Preise der Konsumgüter sind p_X und p_Y , W^i ist das gesamte Lebenseinkommen des Individuums, das für Konsumzwecke zur Verfügung steht.

- a) Stellen Sie das Maximierungsproblem des Individuums i auf. Nehmen Sie hierbei jedoch vorerst an, das Individuum betrachtet den Umweltschaden als vollkommen außerhalb seines persönlichen Einflusses. Verwenden Sie den Lagrangeansatz um die Optimalitätsbedingung herzuleiten und interpretieren Sie diese. Bestimmen Sie außerdem die optimalen Güternachfragefunktionen nach den zwei Gütern.
- b) Nehmen Sie zur Vereinfachung an, es gebe nur zwei Individuen, i und j in der Ökonomie. Gehen Sie weiterhin davon aus, das Individuum i berücksichtige nun den Einfluss des eigenen Konsums auf die Umweltqualität. Wie lautet das Optimierungsproblem des Individuums i ? Erläutern Sie, wie sich die Nachfrage nach den beiden Gütern im Vergleich zu Teilaufgabe a) ändern wird? Hierbei ist keine Berechnung nötig.
- c) Zeigen Sie, dass sich die Nachfragefunktionen aus Teilaufgabe a) ergeben, wenn "sehr viele" Individuen in der Ökonomie leben, die sich alle darüber im Klaren sind, dass ihr

eigener Konsum (und der anderer) von Gut X die Umwelt schädigt. Erläutern Sie die Intuition hinter diesem Ergebnis. In welchem weiteren Fall ergeben sich die Nachfragefunktionen aus Teilaufgabe a), obwohl die Individuen wissen, dass ihr eigener Konsum (und der anderer) von Gut X die Umwelt schädigt?

- d) Lassen Sie nun einen zentralen Planer die soziale Wohlfahrtsfunktion über die Wahl der Konsumgütermengen maximieren. Nehmen Sie zur Vereinfachung an, dass alle Haushalte gleich groß sind, d.h. $c_X^i = c_X$ und $c_Y^i = c_Y$. Wie lautet die Zielfunktion? Wie sollte sich die Nachfrage nach den beiden Gütern im Vergleich zu Teilaufgabe b) und c) ändern? Hierbei ist keine Berechnung nötig. Argumentieren sie verbal.
- e) Was müsste ein Individuum tun, damit es, gemäß Kants kategorischen Imperativs “Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde”, zur sozialen Wohlfahrtsmaximierung beiträgt?