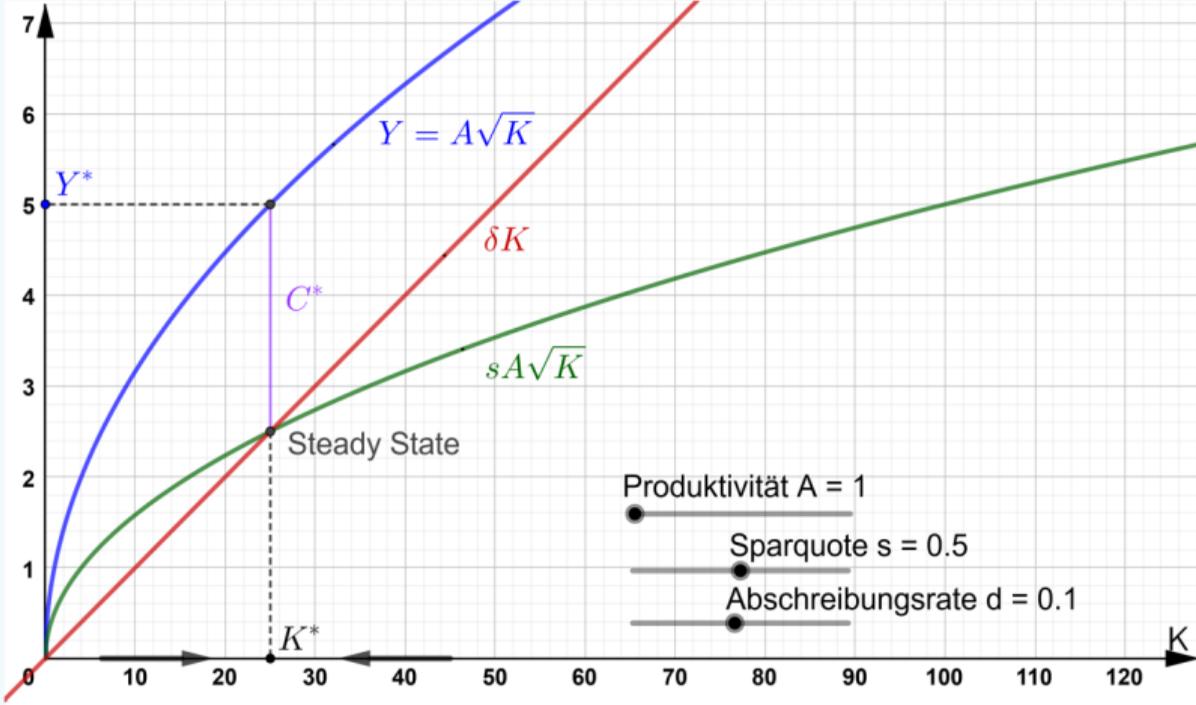


# GRENZENLOSES WACHSTUM?



# Grenzenloses Wachstum in einer Welt mit endlichen Ressourcen?

## (Ein wenig) Theorie:

- 1 Solow-Wachstumsmodell (vereinfacht)
- 2 Wie modellieren wir die Grenzen des Wachstums?
- 3 Welche Rolle spielt technologischer Fortschritt beim möglichen Überwinden des Knappheits-Problems?

## Reality Check:

„Reicht“ technologischer Fortschritt zum Lösen des Klimawandels?

- 1 Moore's Law
- 2 CO2 Emissionen
- 3 Environmental Kuznets curve (EKC)
- 4 ...

# Das Solow-Wachstumsmodell



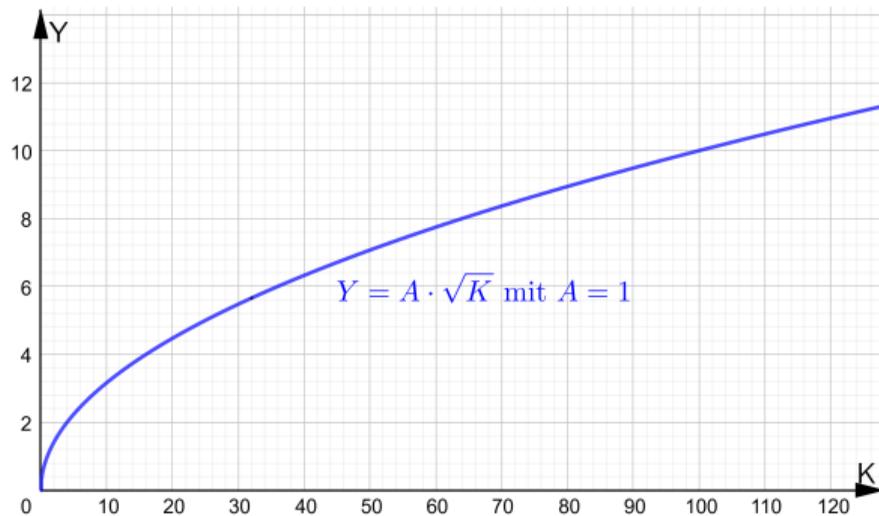
## Robert Solow (\*1924)

- US-amerikanischer Ökonom
- Arbeiten zu ökonomischen Wachstumstheorien
- Erhält 1987 den „Wirtschaftsnobelpreis“
- *A Contribution to the Theory of Economic Growth* (1956)

# Produktion und Einkommen

- **Produktionsfunktion**  $Y = F(K, A) = A \cdot \sqrt{K}$
- Dabei bezeichnen...
  - ▶  $A$  die **Produktivität** in der Volkswirtschaft (zunächst mit  $A = 1$ )
  - ▶  $K$  den **Kapitalstock** in der Volkswirtschaft („Maschinen“)
  - ▶  $Y$  die Menge an Gütern und Dienstleistungen, die damit produziert werden
- **Annahme:**  
Zunächst kein technologischer Fortschritt  $\Rightarrow A$  ist konstant

# Wichtigste Eigenschaften unserer Produktionsfunktion



## Positives Grenzprodukt von Kapital

Wenn wir mehr Kapital einsetzen, steigt auch unsere Produktion.

## Abnehmendes Grenzprodukt von Kapital

Je mehr Kapital wir schon einsetzen, desto geringer ist das Grenzprodukt von Kapital.

## Kapitalakkumulation $\Rightarrow$ wie entwickelt sich $K$ ?

- Die Haushalte sparen den fixen Anteil  $s$  ihres Einkommens  $Y_t \Rightarrow$  **Ersparnisse**  $S_t = sY_t$
- Geschlossene Volkswirtschaft (und ohne Staat)  $\Rightarrow$  **Investitionen**  $I_t =$  **Ersparnisse**  $S_t$
- **Investitionen**  $I_t$  erhöhen den **Kapitalstock** für die nächste Periode
- Gleichzeitig geht der **Anteil**  $\delta$  des Kapitals  $K_t$  durch **Verschleiß** verloren  $\Rightarrow$  **Abschreibungen**  $\delta k$
- Der **Kapitalstock der nächsten Periode**  $K_{t+1}$  ist daher

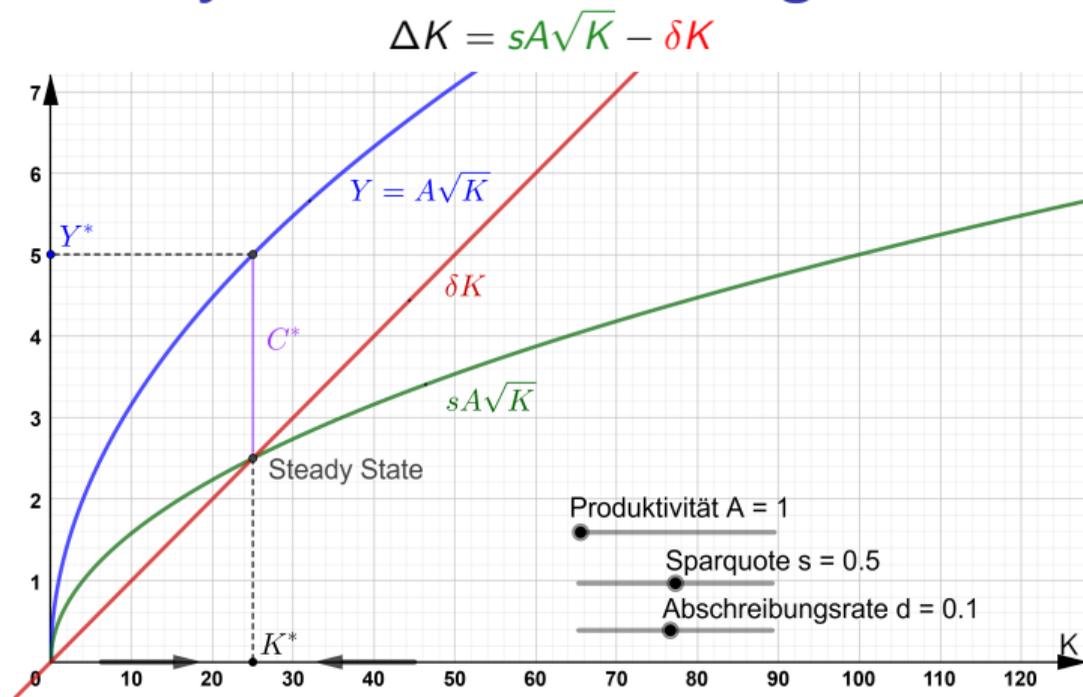
$$\begin{aligned}K_{t+1} &= K_t + sY_t - \delta K_t \\K_{t+1} - K_t &= sY_t - \delta K_t \\ \Delta K &= sY - \delta K\end{aligned}$$

„Nettoinvestitionen = **Bruttoinvestitionen** - **Abschreibungen**“

### Dynamik des Kapitalstocks im Solow-Modell

$$\Delta K = sA\sqrt{K} - \delta K$$

# Dynamik und Steady State ohne technologischen Fortschritt



## Steady State ohne techn. Fortschritt

Der Kapitalstock  $K$  konvergiert zu einem **Steady State**. Im Steady State sind der Kapitalstock ( $K^*$ ) und die Produktion ( $Y^* = A\sqrt{K^*}$ ) **konstant**.

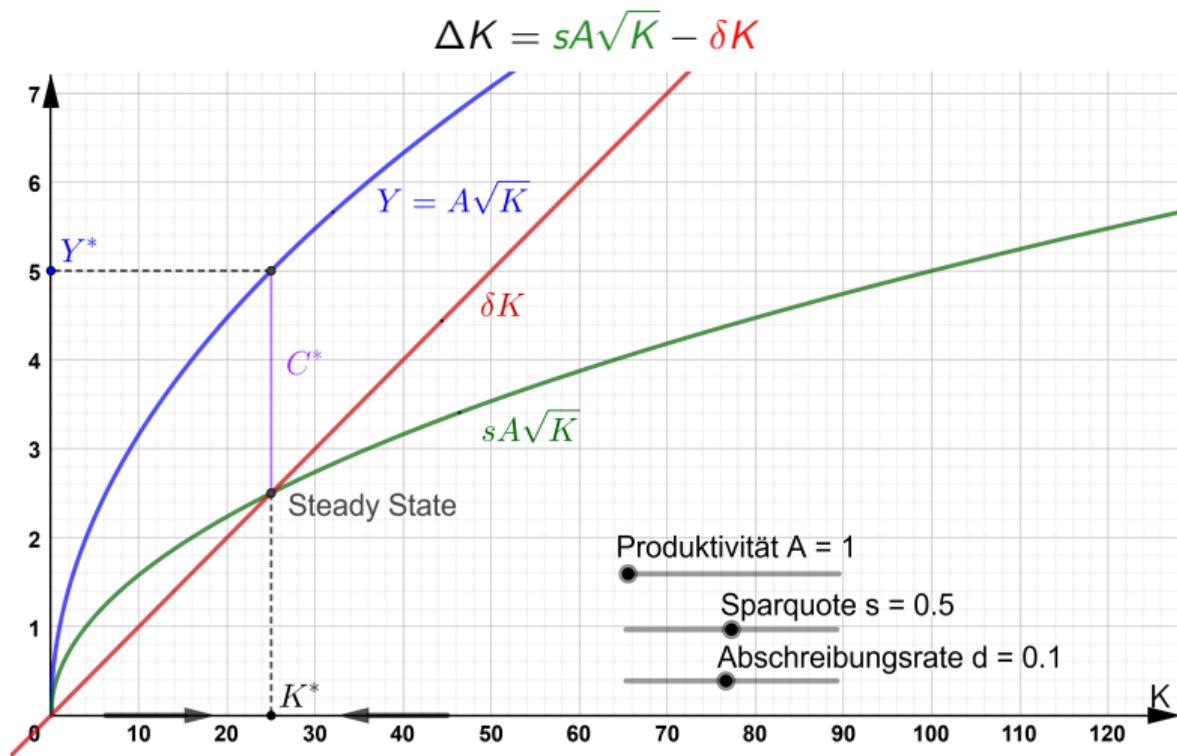
# Warum kein langfristiges Wachstum ohne techn. Fortschritt?

- **Grenzprodukt von Kapital** nimmt mit höherem  $K$  immer weiter ab
- **Abschreibungen** pro Kapitaleinheit  $\delta K$  sind dagegen unabhängig vom Kapitallevel  $K$
- Langfristig erreicht die Volkswirtschaft einen Steady State, in dem die **(Brutto-)Investitionen**,  $sA\sqrt{K}$ , gerade noch die **Abschreibungen**,  $\delta K$ , ausgleichen
- Danach kein weiteres Wachstum durch Kapitalakkumulation

⇒ **langfristiges Wachstum nur durch Anstieg der Produktivität  $A$**

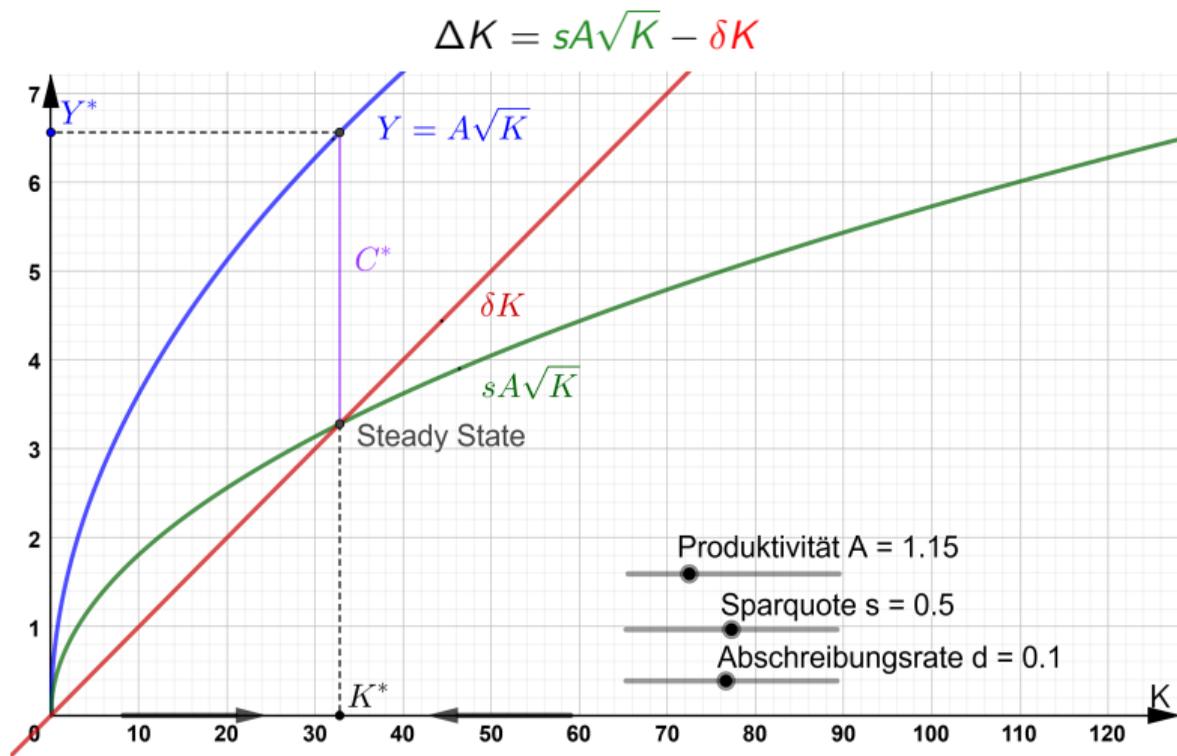
⇒ **technologischer Fortschritt**

# Anstieg der Produktivität von $A = 1$ auf $A = 1.15$ (Ausgangslage)



<https://www.geogebra.org/classic/pxtq8pfb>

# Anstieg der Produktivität von $A = 1$ auf $A = 1.15$ ( $A \uparrow$ )



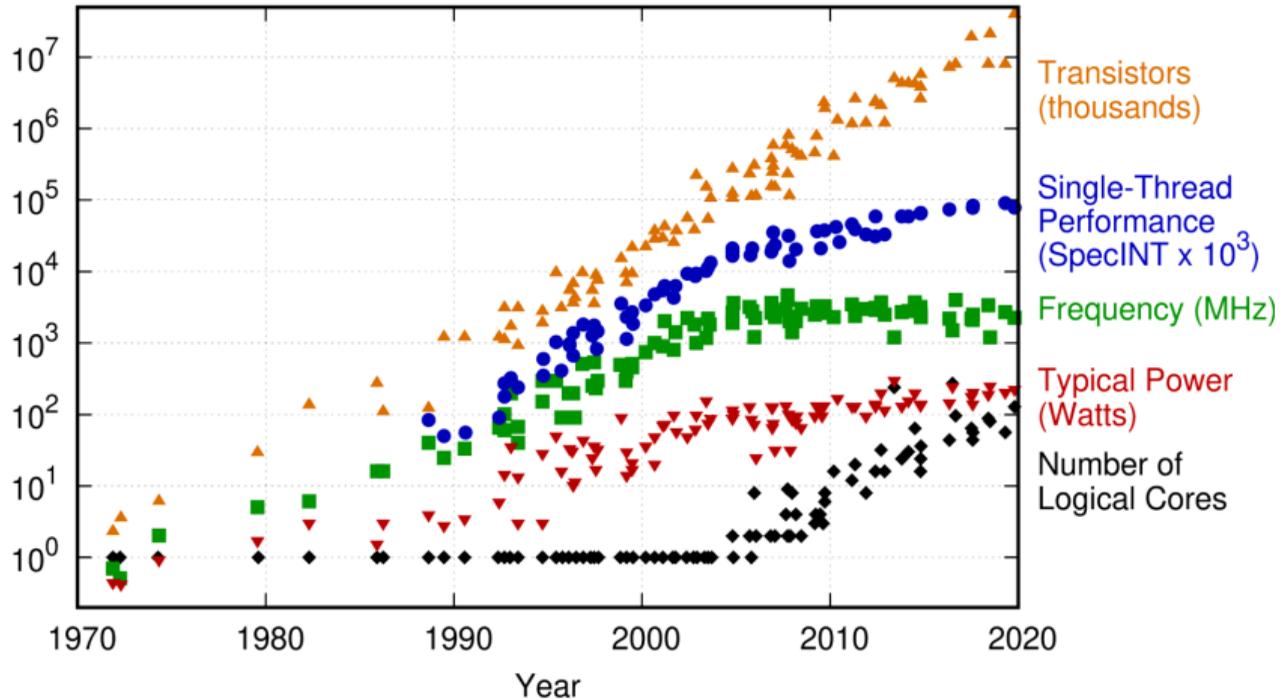
<https://www.geogebra.org/classic/pxtq8pfb>

# Bedeutung von technologischem Fortschritt

- Ein einmaliger Anstieg von  $A$  führt also zu „Rechtsverschiebung“ des Steady State
- **Kurzfristig** wachsen Kapital und Einkommen hierdurch schneller als zuvor
- **Kontinuierliches Wachstum** von  $K$  und  $Y$  nur bei **kontinuierlichem technologischem Fortschritt** (stetigem Anstieg von  $A$ )
- Während **Kapitalakkumulation** also **für den Zeitraum der Konvergenz** zum Steady State zu Wachstum führt, wächst eine Volkswirtschaft im **langfristigen** Gleichgewicht gemäß des Solow-Modells mit der Rate des **technologischen Fortschritts (= Produktivitätswachstums)**

# Moore's Law gilt weiterhin (mehr oder weniger) – „alles OK?“

48 Years of Microprocessor Trend Data



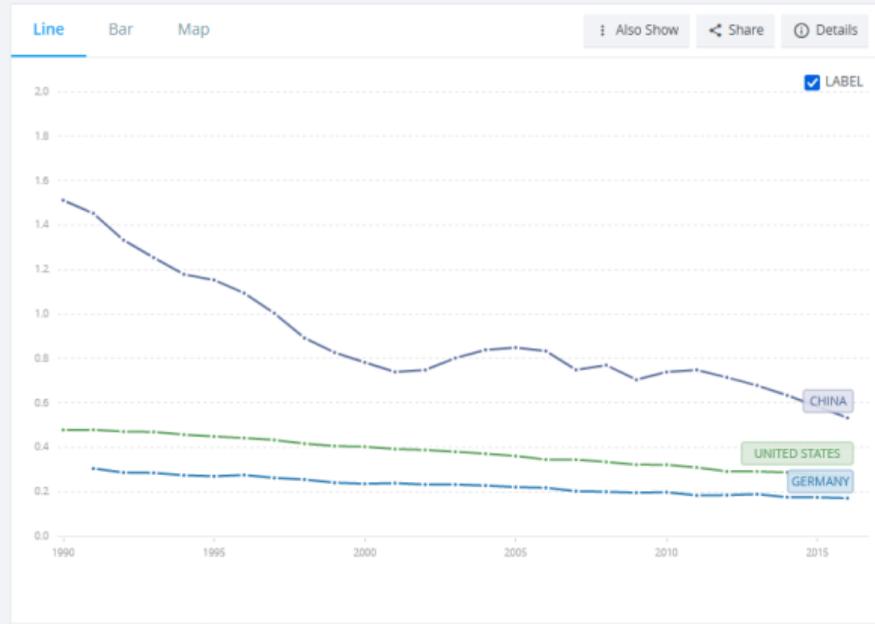
Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten  
New plot and data collected for 2010-2019 by K. Rupp

# CO2 Emissionen – steigende Produktionseffizienz (Weltbank)

## CO2 emissions (kg per 2017 PPP \$ of GDP) - Germany, United States, China

Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, United States.

License : CC BY-4.0 [O](#)

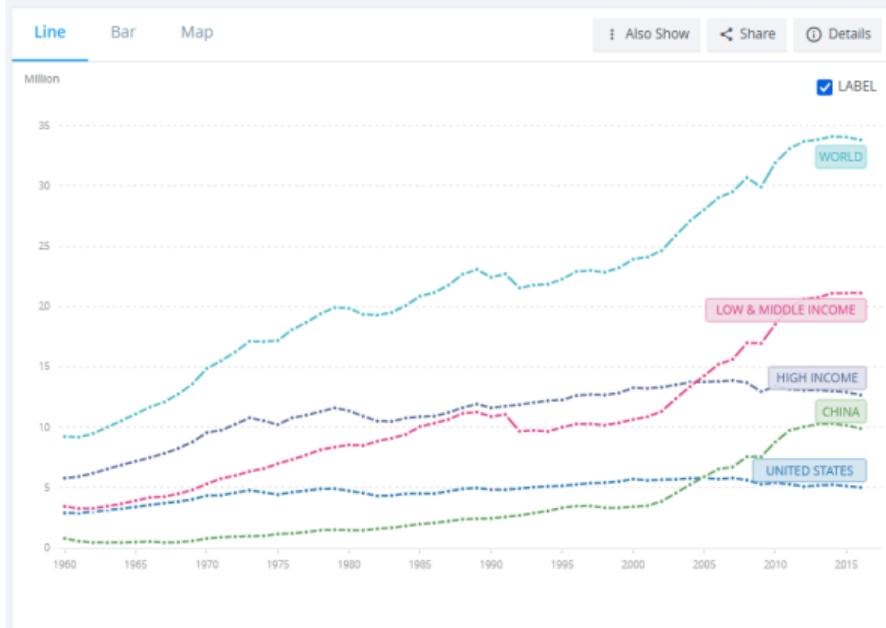


# O2 Emissionen – „nicht effizient genug!“ (Weltbank)

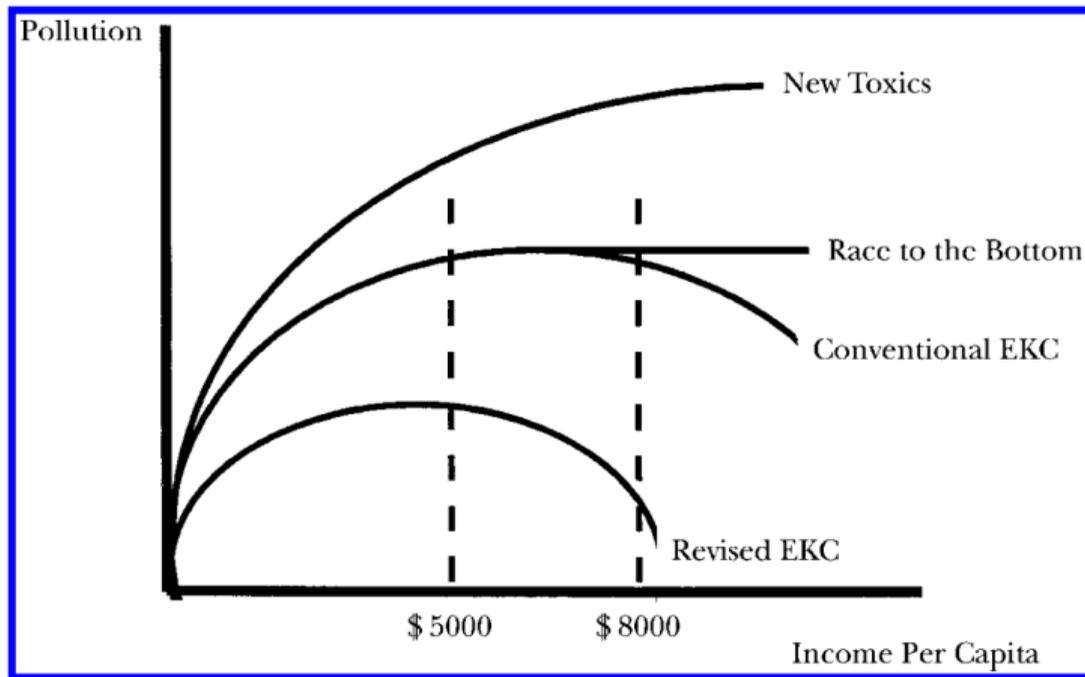
## CO2 emissions (kt) - United States, China, High income, Low & middle income, World

Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, United States.

License: CC BY-4.0

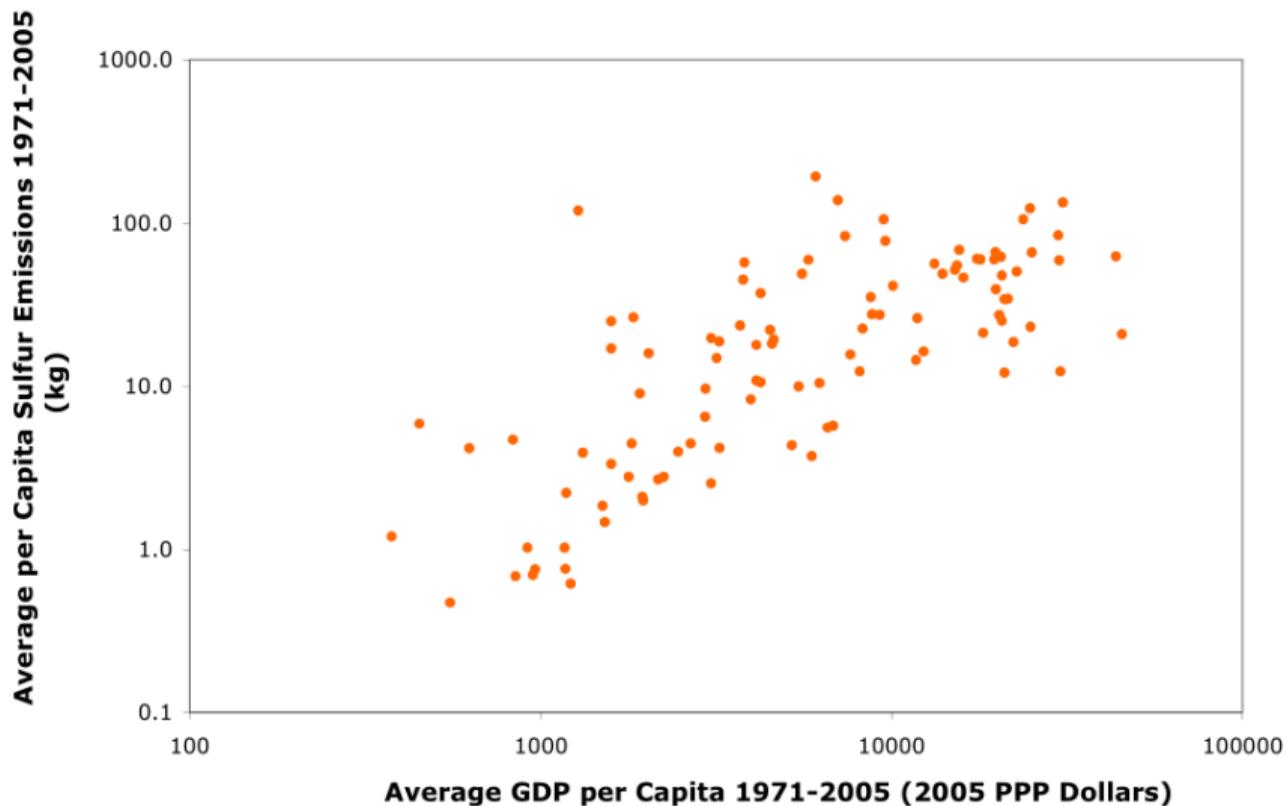


# Environmental Kuznets Curve (EKC)



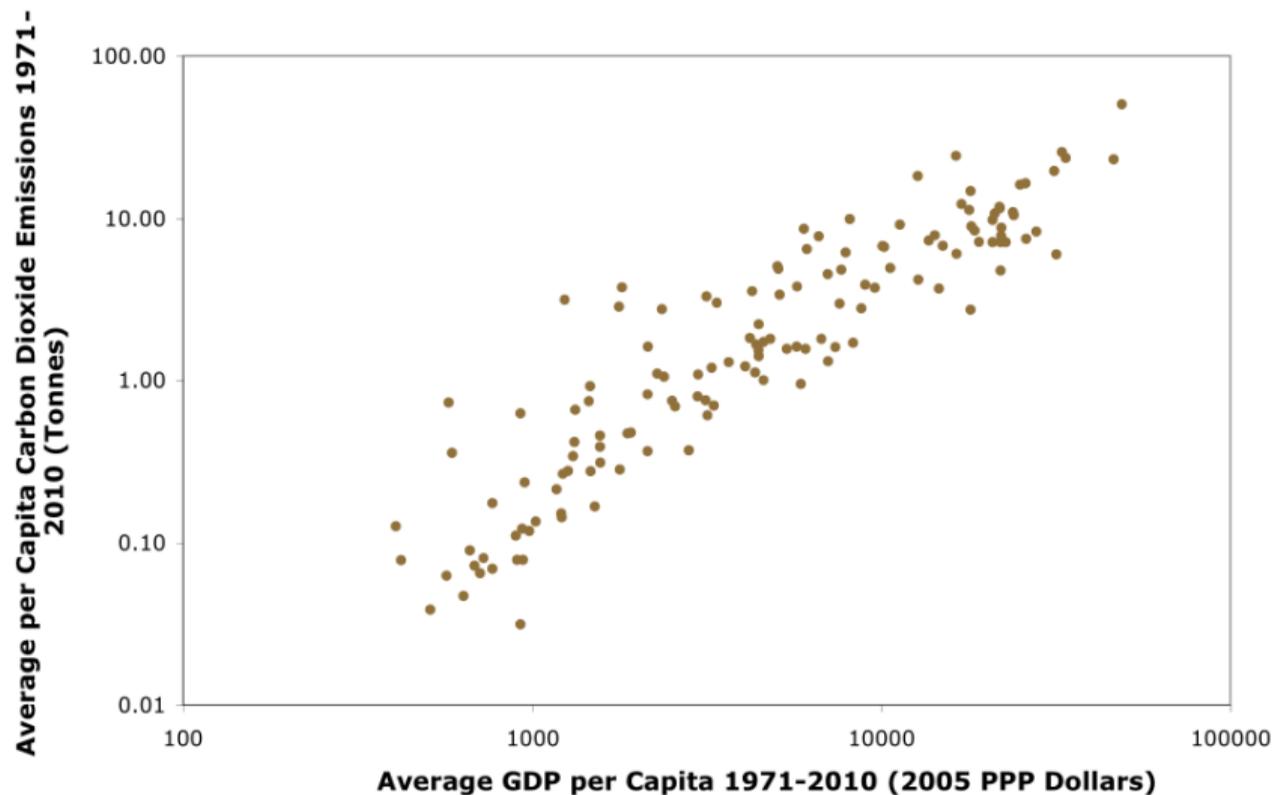
(Dasgupta et al. (2002), Journal of Economic Perspectives)

# Einkommen und Schwefelemissionen



(Stern (2017), Journal of Bioeconomics)

# Einkommen und CO2 Emissionen



(Stern (2017), Journal of Bioeconomics)

# Fazit

- **Theorie:**

Wir müssen „nur“ ausreichend schnell produktiver werden, sodass wir mit immer weniger (natürlichen) Ressourcen zunehmenden Output produzieren

- **Produktivitätswachstum** durch Forschung, Entwicklung, Learning by Doing!

- Gegenwärtig gibt es **kaum Anzeichen**, dass alleine der aktuelle technologische Fortschritt zu einem ausreichenden Rückgang von CO<sub>2</sub>-Emissionen führt

- Techn. Fortschritt **nicht ausreichend, aber notwendig** zur Lösung des Klimawandels

- **Regulierung** notwendig, um Marktversagen (**Externalitäten**) auszugleichen

- **Interdisziplinäre** Herausforderung:

- ▶ Wirtschaftswissenschaftler
- ▶ Naturwissenschaftler
- ▶ Soziologen
- ▶ Politologen
- ▶ ...