

universität freiburg

Die Grenzen des Wachstums

Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit - 50 Jahre Missverständnis oder 50 Jahre verlorene Zeit?

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilde
Institut für Mikrosystemtechnik, Universität Freiburg

Freiburg, 26. Juni 2023

Dennis Meadows Donella Meadows
Erich Zahn Peter Milling

Die Grenzen des Wachstums

Bericht des
Club of Rome*
zur Lage
der Menschheit



*Friedenspreis des
Deutschen Buchhandels 1973

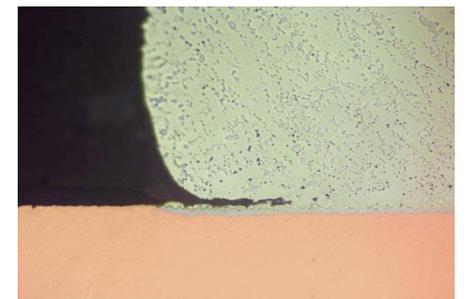
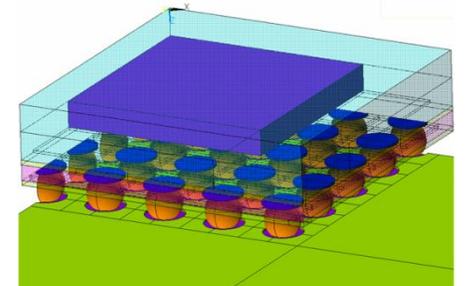
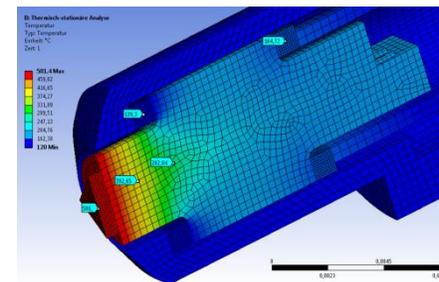
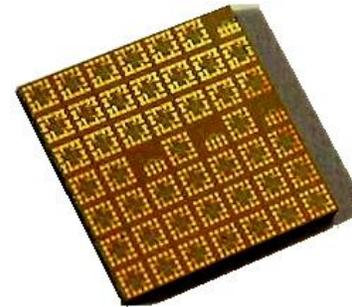


Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilde
Verheiratet, 2 Kinder

- 1957 Geboren in Aschaffenburg, Bayern
- 1976 Student an der Universität Erlangen
- 1982 Dipl.-Ing. Werkstoffwissenschaften
- 1982 Wiss. Mitarbeiter, Institut für Schweißtechnik, TU Clausthal, Promotion 1999
- 1988 Wiss. Mitarbeiter in AEG-Daimler-Forschung Fertigungstechnologien und Materialien für zuverlässige Elektronik
- 1999 Professur für Aufbau- und Verbindungstechnik
- Ab 2008, 2016, 2019 Studiendekan Mikrosystemtechnik

Highlights

Konzept und Einführung von Sustainability Systems Engineering
Zuverlässige Sensoren, Leistungselektronik und Mechatronik



Gliederung

Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit - 50 Jahre Missverständnis oder 50 Jahre verlorene Zeit?

1. **Die frühen Schwarzseher:** Malthus
 2. **Die Entstehung:** Die Vorgeschichte und die Beteiligten
 3. **Methodik:** Das kybernetische Modell und die verwendeten Daten
 4. **Ergebnisse:** Verschiedene Szenarien, wie die Welt (nicht) untergeht
 5. **Die Wahrheit:** Vergleich von Prognosen und aktuellem Status
 6. **Kritiken an Grenzen des Wachstums:** Vorwürfe, Diskussion und Gegenargumente
 7. **Die Nachwirkung:** Einflüsse, die „Grenzen des Wachstums“ hatte
 8. **Marketingfehler:** Warum der Club of Rome und die Wissenschaft die Befunde schlecht verkauft hat
 9. **Ausblick**
 10. **Ansätze für Diskussion**
-

1. Die frühen Schwarzseher: Die Malthusianische Katastrophe

Thomas Robert Malthus (1766–1834), engl. Ökonom

1798 Aufsatz "The Principle of Population" mit

These:

- Bevölkerungszahl wächst exponentiell,
- Nahrungsmittelproduktion wächst nur linear.

Folge:

- Nahrungsmittelpreise steigen, aber
- Reallöhne sinken unter Existenzminimum
- Bevölkerungswachstum senkt Pro-Kopf-Einkommen

Zyklus:

- Verelendung und Schrumpfung der Bevölkerung.
- Danach beginne der Zyklus neu



2. Die Entstehung: Eckdaten und die Beteiligten

Initiative: Dr. Aurelio Peccei und Prof. Edouard Pestel, Club of Rome

Forschungsvorhaben mit Fördergeber Stiftung Volkswagenwerk, Deutschland

Forschungseinrichtung: MIT, Boston, USA

17 **Forscher** aus 7 Ländern: Dennis Meadows, Donella Meadows, Erich Zahn, Peter Millings u.a.

Kompetenzbereiche Umwelt, Landwirtschaft, Rohstoffe, Bevölkerung, Sozialpolitik, Kapital, Verwaltung.

Projektdauer: ca. 2 Jahre, 1969-1972

Publikation: Club of Rome als Buch: 1972

Projektbericht *Dynamics of Growth in a Finite World* @ Wright-Allen Press, 1974



2. Die Entstehung: Die Technik stand bereit.

Methodische Grundlage:

System Dynamics, entwickelt von Jay W. Forrester am MIT, ab 1960

Software:

Programm WORLD 3, Programmiersprache Dynamo (R, Bennet)

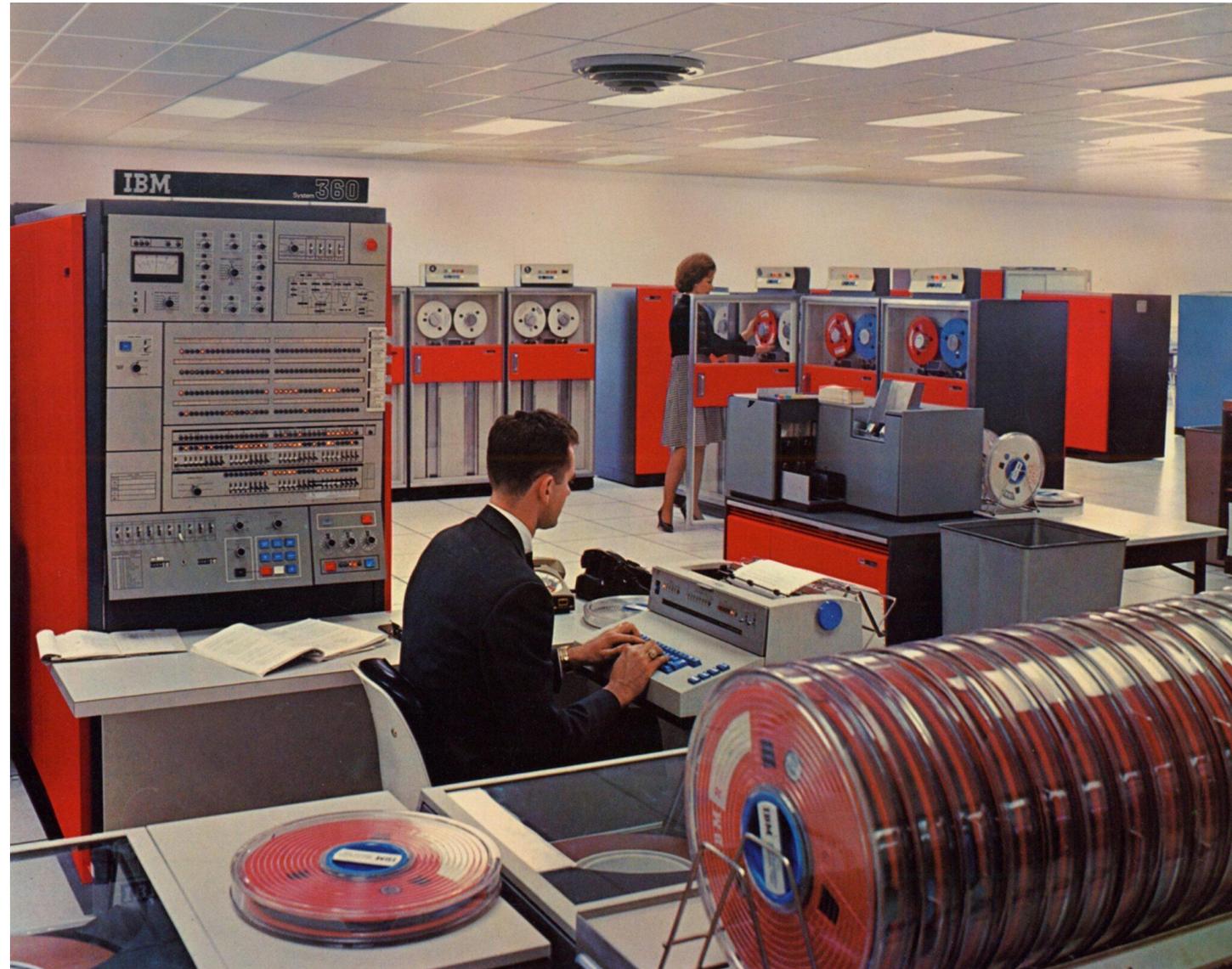
Hardware:

Großrechner: IBM-Mainframe-Maschinen, Typ 360 und 370, ab 1965

32 bit, bis einige Mbyte RAM, Taktf. bis MHz

Zum Vergleich: Smartphone Google Pixel

128 bit, 128 Gbyte RAM, Taktfrequenz bis GHz



3. Methodik: System Dynamics

Was war 1970 neu an „The Limits to Growth“?

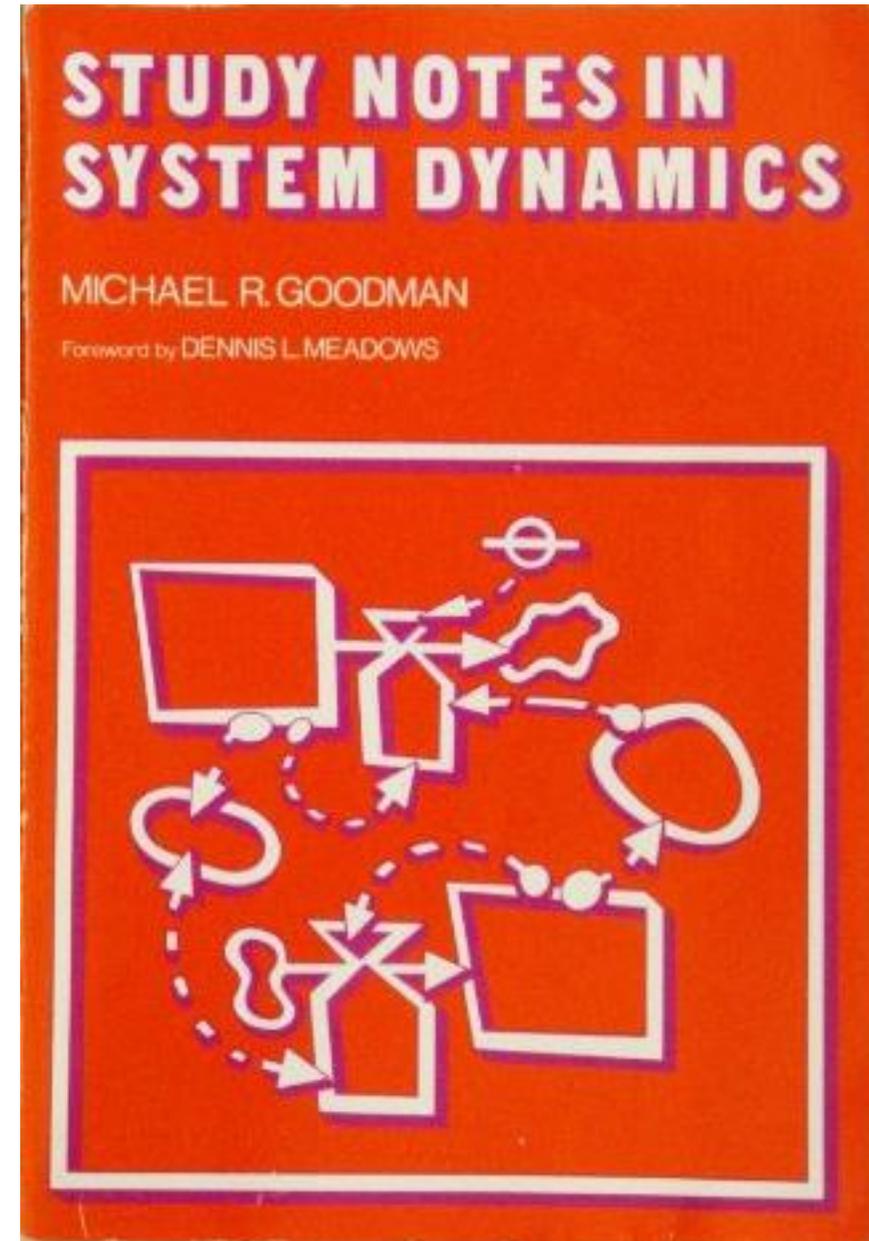
Bisher: Beschreibende Extrapolation diverser Größen

Zukünftige Daten werden aus bisherigen Daten mit einem einfachen Wachstumsmodell hochgerechnet, z.B.:

- Lineares Wachstum: Absolute Änderung pro Jahr bleibt gleich
- Exponentielles Wachstum: Prozentuale Änderung pa ist gleich

Neu: Systemdynamik über kybernetisches Modell

- Änderungsraten können beeinflusst werden.
- Es werden mehrere wechselwirkende Größen betrachtet.
- Es kann pos. und neg. Rückkopplung (Feedback) geben.
- ➔ Größen in den Systemen können wachsen, schrumpfen, konstant bleiben, auch gegensinnig.
- ➔ Das System kann sich stabilisieren, driften, kippen ...



3. Methodik :

Das kybernetische Modell und die verwendeten Daten

Wichtige betrachtete messbare Größen, Auszug

Kapital: Einzusetzen für Industrie, Rohstoffgewinnung, Konsum, Ernährung. Steuert deren Wachstum.

Rohstoffe: Bekannte Reserven Stand 1970, exponentielle Zunahme des Verbrauchs

- Gelistet 19 Schlüsselrohstoffe, summarische Betrachtung, da wechselseitige Substitution zu erwarten: Kohle-Öl-Gas, Molybdän-Nickel-Chrom, etc.
- Energieverbrauch steigt mit Bruttosozialprodukt: 2,5 kg Steinkohleäquivalent pro \$ jeweils pro Kopf
- Im Modell Annahme von z.B. doppelten oder unbegrenzten Reserven

Umweltverschmutzung gekoppelt an Industrieproduktion, Totzeit von ca. 10 Jahren

- Exemplarische Betrachtung nur ausgewählter Stoffe: Blei, Radioaktivität, Quecksilber, Asbest, DDT
- CO₂: 312,7 ppm in Atmosphäre 1958, Steigerung um 0,2 % p.a.
Wirkung auf Klima bereits benannt (Erderwärmung), aber nicht explizit im Modell berücksichtigt
- Wirkung der Umweltverschmutzung: Erhöht Sterberate und vermindert Nahrungsmittelproduktion

3. Methodik :

Quellen der Prognosedaten

Methodische Grundlage:

System Dynamics, entwickelt von Jay W. Forrester, Sloan School of Management des MIT, ab ca. 1960

Auswahl der Datenquellen: 85 öffentliche oder offizielle

UN-Wirtschafts- und Sozialrat, 5 Statistische Jahrbücher bis 1970

UN-Organisation für Ernährung und Landwirtschaft, diverse Werke bis 1970

US Atomic Energy Commission: Forecast ...

US Department of Commerce: US Economic Growth

US Bureau of Mines: Mineral Facts and Problems

(US) Council on Environmental Quality: Annual Report 1971

.....



3. Methodik: Im Modell verwendete Größen

Messbare Größe, welche die Wirkung auf einzelne Menschen charakterisieren

Industrieproduktion pro Kopf: U. a. abhängig von

- Verfügbarem Kapital
- Rohstoffe

Nahrungsmittel pro Kopf: U. a. abhängig von

- Verfügbarem Kapital
- Agrarfläche und Effizienz
- Umweltverschmutzung (Klimaeinwirkung)

Bevölkerungsanzahl: U. a. abhängig von

- Geburtenrate
- Sterberate: Anstieg deutet auf dramatische Änderungen hin.



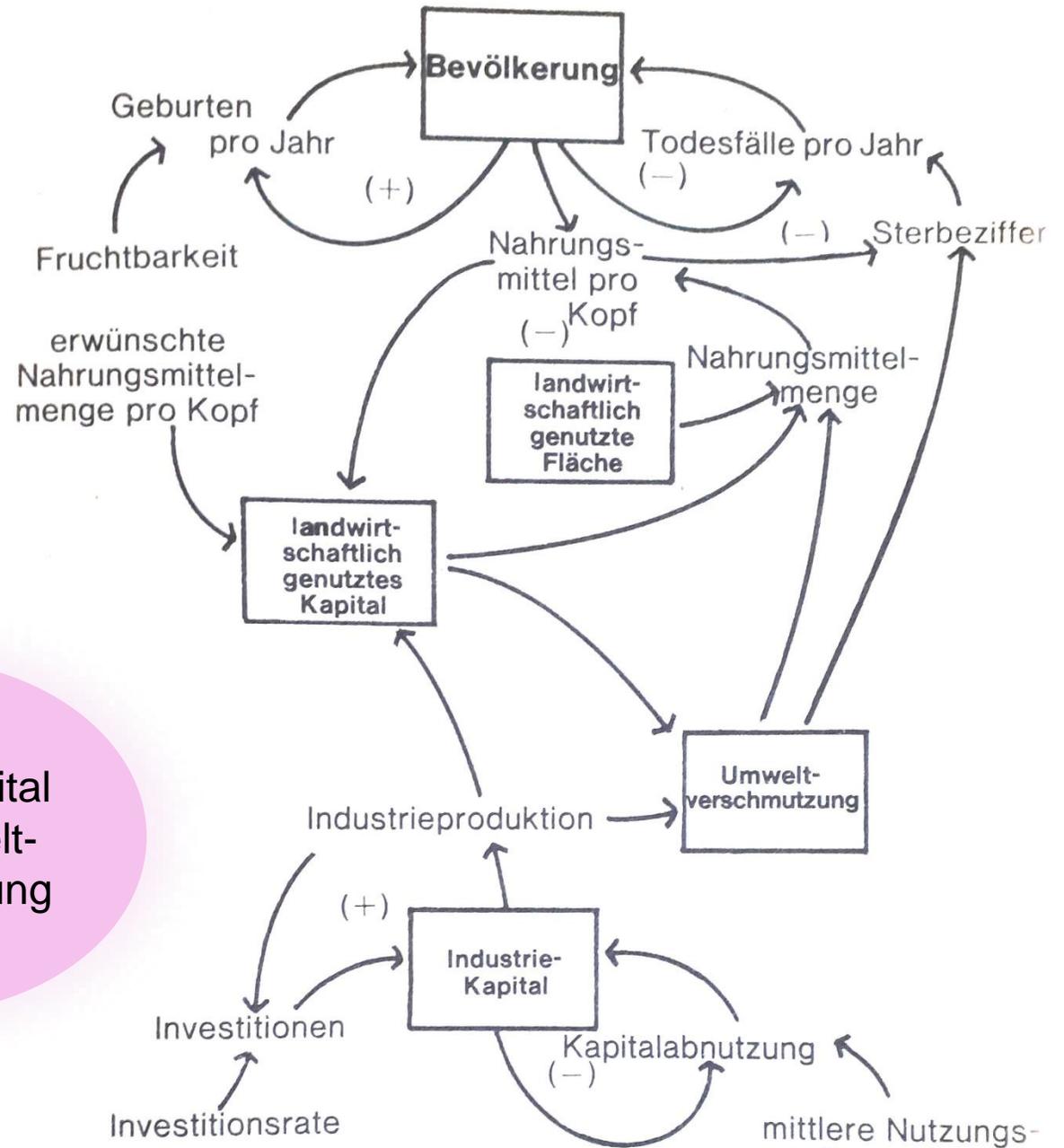
3. Methodik: Beispiel

Das kybernetische Modell und die verwendeten Daten

Rückkoppelungsschleifen für Bevölkerung, Kapital, Landwirtschaft und Umweltverschmutzung

- ⊗ Industriekapital: ↑
- ⊗ Industrieproduktion: ↑
- ⊗ Umweltverschmutzung: ↑
- ⊗ (Direkte) Sterbeziffer: ↑
- Weitere Folge
- ⊗ Nahrungsmittelmenge: ↓
- ⊗ Sterbeziffer: ↑

Aber Industriekapital kann Umweltverschmutzung senken!

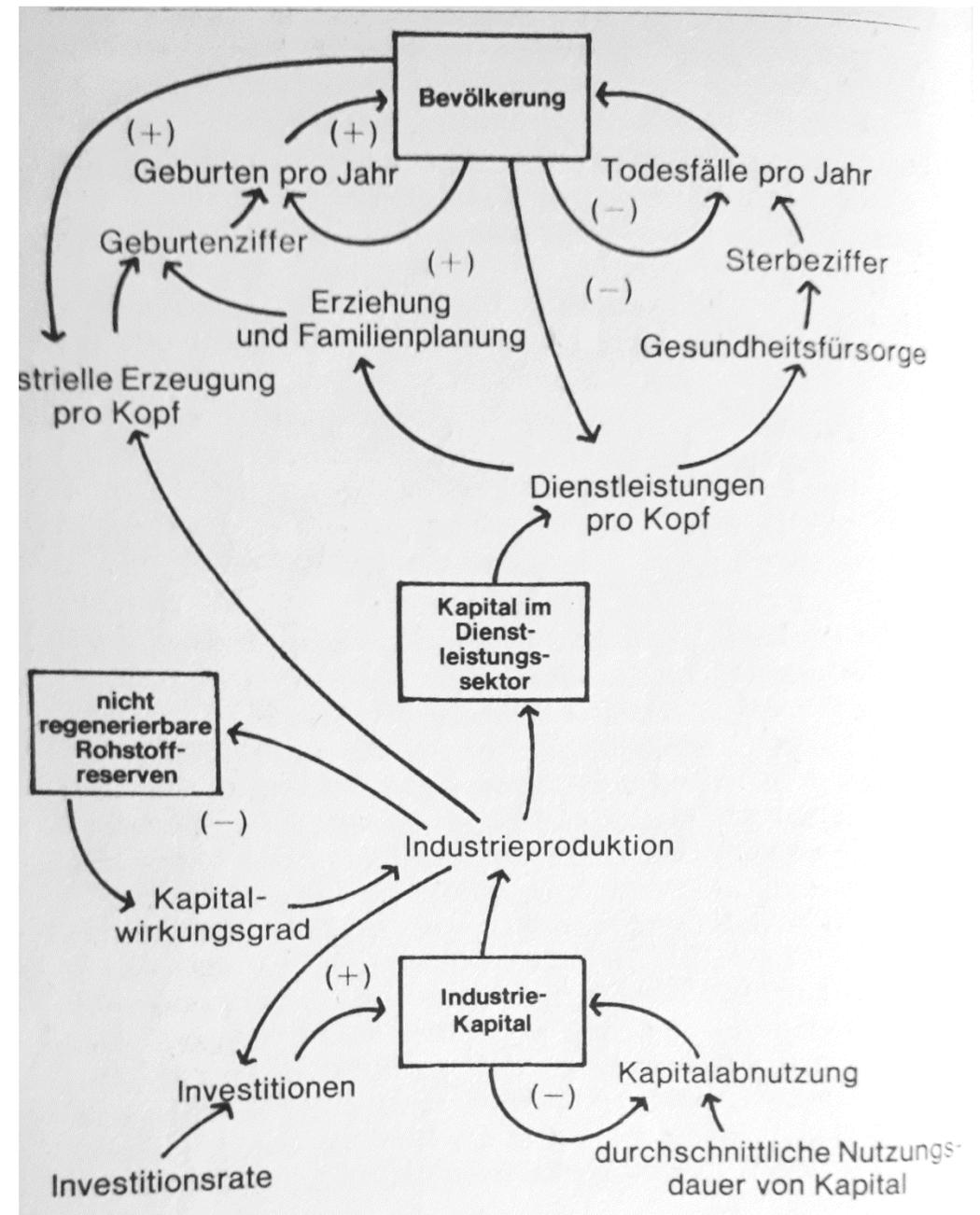


3. Methodik: Beispiel

Das kybernetische Modell und die verwendeten Daten

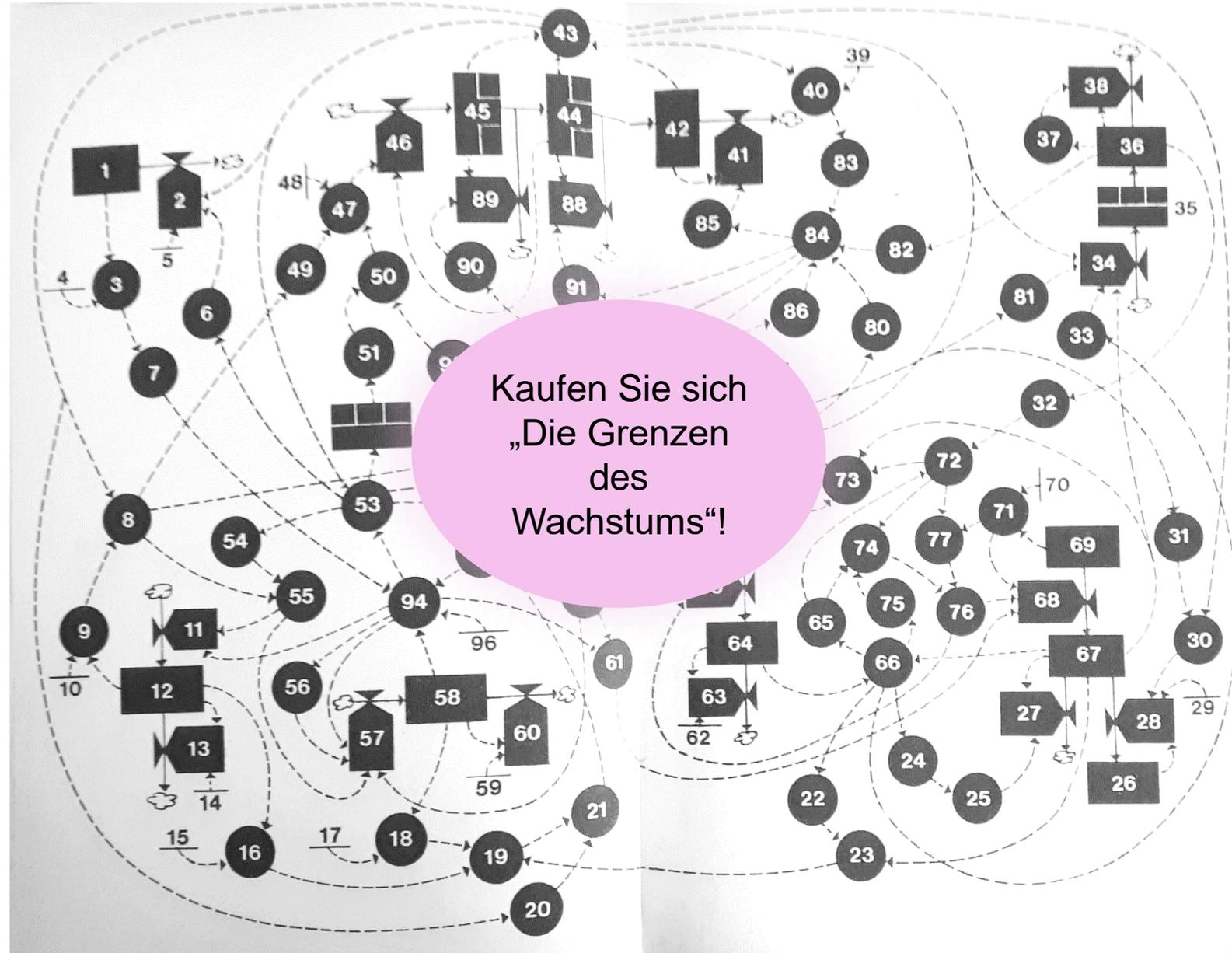
Rückkoppelungsschleifen für Bevölkerung, Kapital, Dienstleistungen und Rohstoffe

- ⊗ Industriekapital: ↑
- ⊗ Industrieproduktion: ↑
- ⊗ Kapital Dienstleistungen: ↑
- ⊗ Dienstleistungen pro Kopf: ↑
- ⊗ Gesundheitsfürsorge: ↑
- ⊗ Sterbeziffer: ↓
- Weitere Folge
- ⊗ Familienplanung: ↑
- ⊗ Geburtenrate: ↓



3. Methodik : Das kybernetische Modell und verwendete Daten

- Messbare physikalische Größen
- ▶■ Ventilsymbol für Raten, die Größen beeinflussen
- Beeinflussende Größen
- Reale Bewegungen von Menschen, Gütern, Geld
- ←--- Kausalitäten ohne Wirkung auf Modellverhalten



3. Methodik: Die Online-Simulatoren für das originale World-3-Modell

Modell-Implementierungen

[Javascript world 3 simulator](#)

<http://bit-player.org/extras/limits/ltg.html>

[Interactive online World3 simulation](#)

[pyworld3](#) on [GitHub](#)

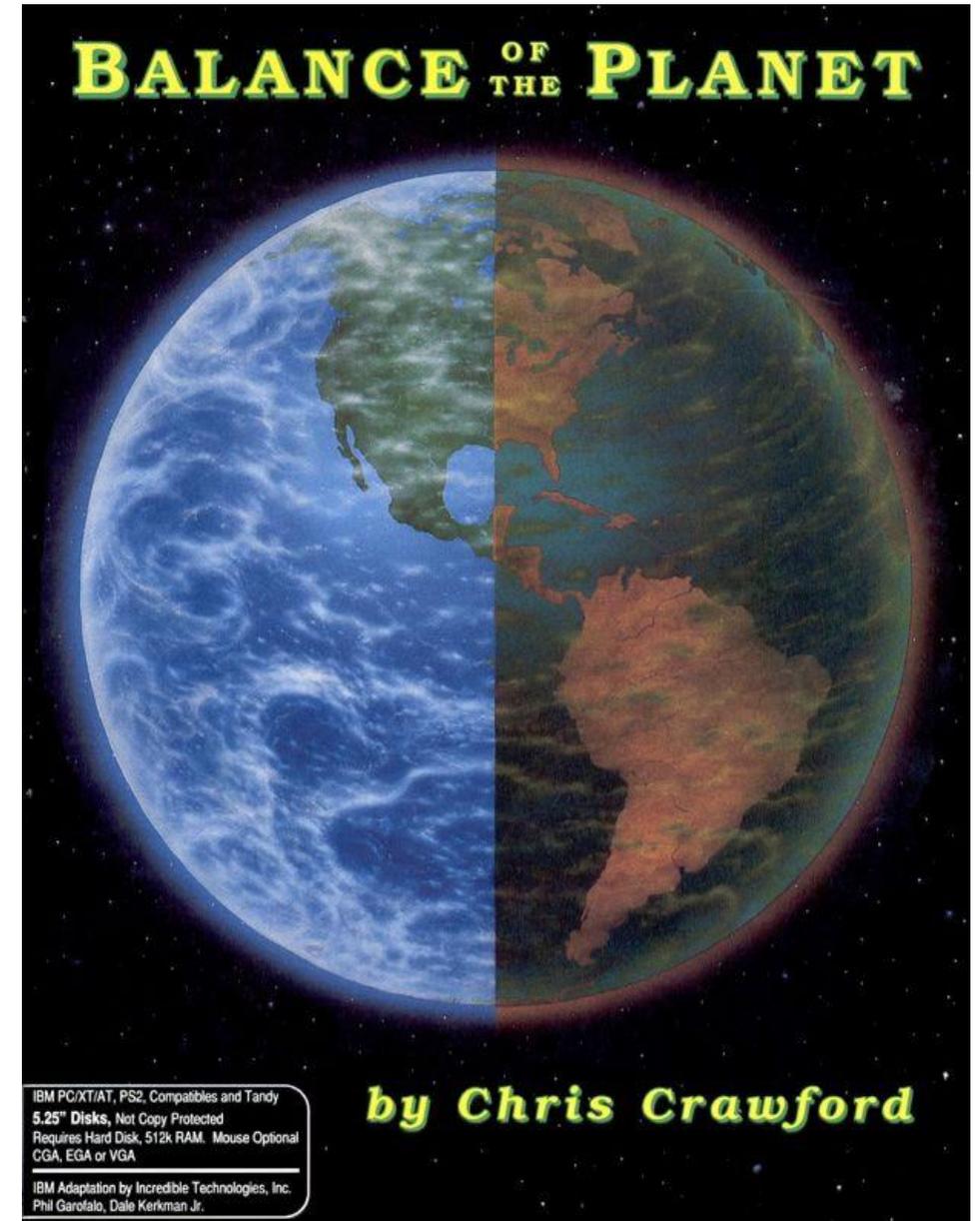
- Python version of World3

[MyWorld3](#) on [GitHub](#)

- A second Python version of World3

Spiele: **Balance of the Planet (1990)**

Inspiration für SimTown, SimTower, SimIsle, etc.



4. Ergebnisse: Verschiedene Szenarien, wie die Welt untergeht

Neuberechnung 2004: BAU und BAU2-Szenarien

BAU: Business-as-usual

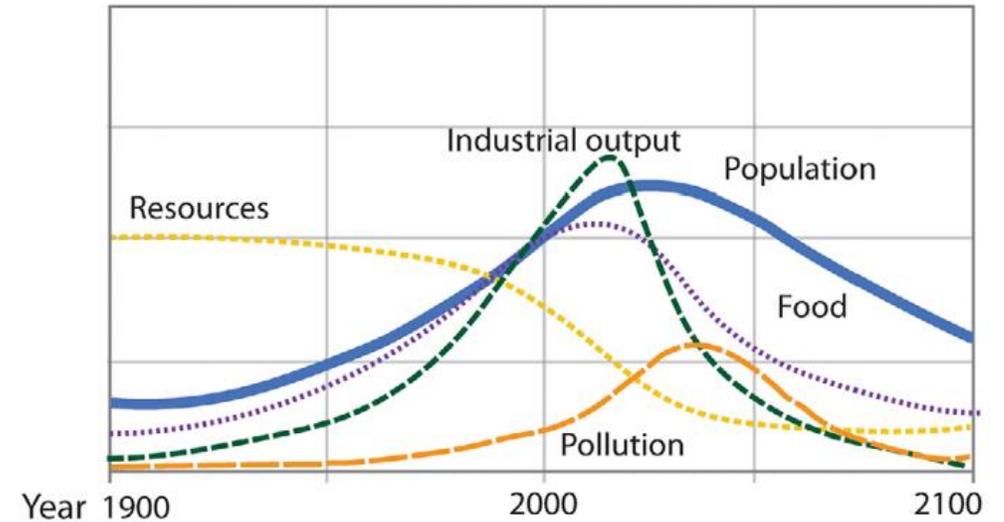
Folge: Zusammenbruch durch Erschöpfung natürlicher Ressourcen

BAU2 : Business-as-usual, aber verdoppelte Ressourcen

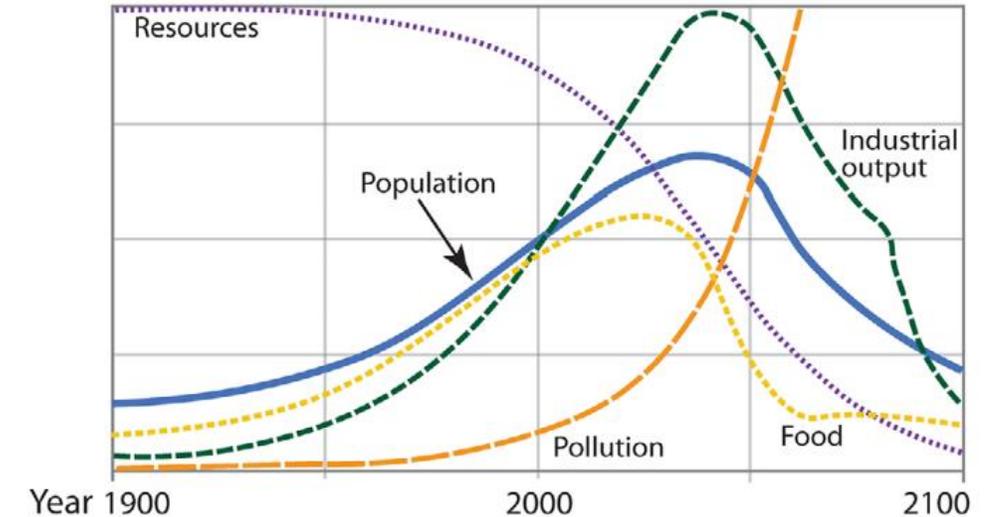
Folge: Zusammenbruch primär durch Umweltverschmutzung

Quelle: Adaption aus *Limits to Growth: The 30-Year Update* (p. 169, 173, 219, 245), by Meadows, D. H., Meadows, D. L., and Randers, J., 2004, Chelsea Green Publishing Co.

BAU



BAU2



4. Ergebnisse: Verschiedene Szenarien, wie die Welt nicht untergeht. Neuberechnung 2004

Neuberechnung 2004: CT- und SW-Szenarien

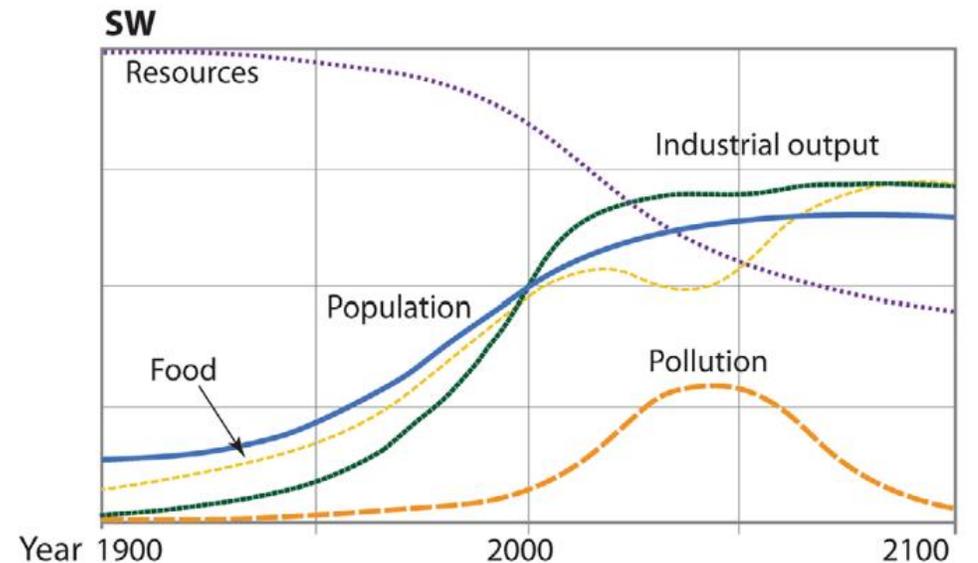
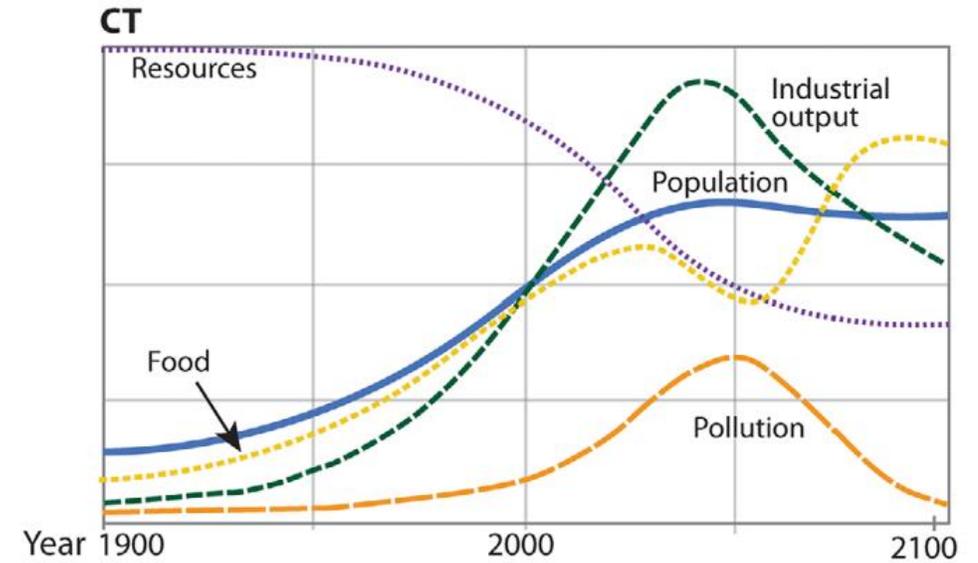
CT: Doppelte Ressourcen, High-Tech-Einsatz und hohe Anpassungsraten

Folge: Kein Zusammenbruch, aber industrieller Rückgang

SW: Wie CT, aber Berücksichtigung von gesellschaftlichen Werten und Prioritäten

Folge: Generelle Stabilisierung auf hohem Niveau

Quelle: Adaption aus „Limits to Growth: The 30-Year Update“ (p. 169, 173, 219, 245), by Meadows, D. H., Meadows, D. L., and Randers, J., 2004, Chelsea Green Publishing Co.



4. Ergebnisse: 1970

Verschiedene Szenarien, wie die Welt (doch nicht) untergeht

Modell	Nahrungs- mittel pc	Industrie- produktion	Umweltver- schmutzung	Rohstoffe	Bevöl- kerung	Grenze 1 / Jahr Grenze 2 / Jahr
Standard	1970 ff.	1970 ff.	Nicht kontrolliert	1970 ff.	1970 ff	Rohstoffe erschöpft 2060 Bevölkerung schrumpft 2050
Standard, unbe- grenzte Rohstoffe	1970 ff.	1970 ff.	Nicht kontrolliert	Unbegrenzt	1970 ff	Extreme Umweltverschmutzung <2040 Bevölkerung schrumpft >2040
Unlimit. Rohstoffe, Umwelt OK	1970 ff.	1970 ff.	Unter Kontrolle	Unbegrenzt	1970 ff	Nahrungsmittel pc sinkt ab 2020 Bevölkerung schrumpft >2075
Unlimit. Rohstoffe, Umwelt red, 2*Food	2* von 1970 ff.	1970 ff.	Reduziert	Unbegrenzt	1970 ff	Extreme Umweltverschmutzung >2040 Bevölkerung schrumpft >2040
Wie 3 und perfekte Geburtenkontrolle	2* von 1970 ff.	1970 ff.	Reduziert	Unbegrenzt	1970 ff	Nahrungsmittel pc sinkt ab 2030 Bevölkerung schrumpft >2040
Stabiles Modell II, sofort ab 1970	Steigt stetig	Steigt kon- trolliert	Unter Kontrolle	Wiederver- wertung	2 Kinder pro Fam.	Bevölkerung stabil ab 2030 Weiteres Wirtschaftswachstum
Stabiles Modell, ab 2000	Steigt stetig	Steigt kon- trolliert	Unter Kontrolle	Wiederver- wertung	2 Kinder pro Fam.	Nahrungsmittel pc sinkt ab 2050 Industrieproduktion schrumpft >2040

5. Die Wahrheit: Vergleich von Prognosen und aktuellem Status

Quelle: Herrington G. Update to Limits to Growth: <https://doi.org/10.1111/jiec.13084>

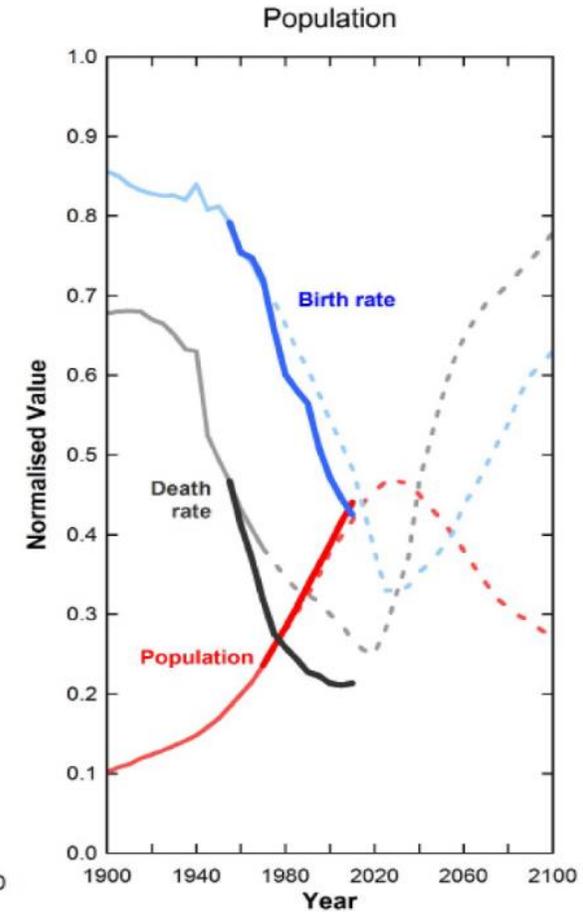
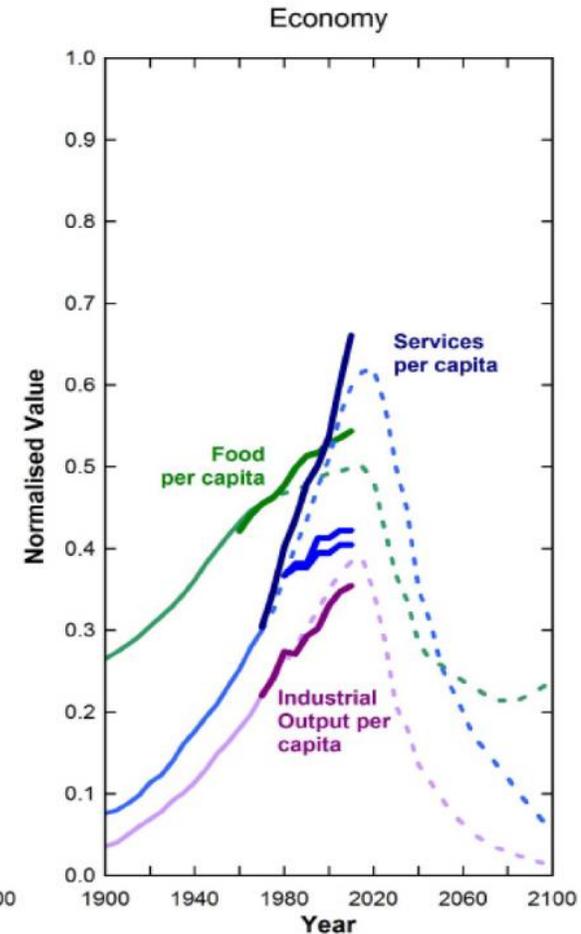
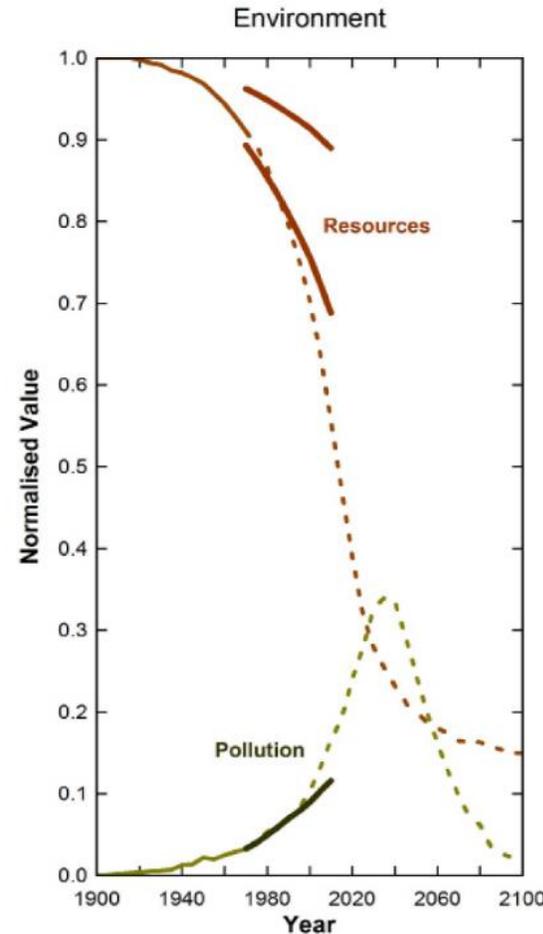
Genauigkeit der Prognosen

Empirische Weltdaten im Vergleich zu Daten für Szenarien erzeugt mit dem neuesten pessimistischen BAU-Modell (Business-as-usual)

Normierte Werte für Bereiche

- Umwelt
- Wirtschaft
- Bevölkerung

⇒ Situation ist etwas besser als nach dem ☀-BAU-Modell



5. Die Wahrheit: Vergleich von Prognosen und aktuellem Status

Genauigkeit der Prognosen

Empirische Weltdaten im Vergleich zu Daten für Szenarien aus dem letzten LtG-Buch, erzeugt mit dem neuesten World3-Modell.

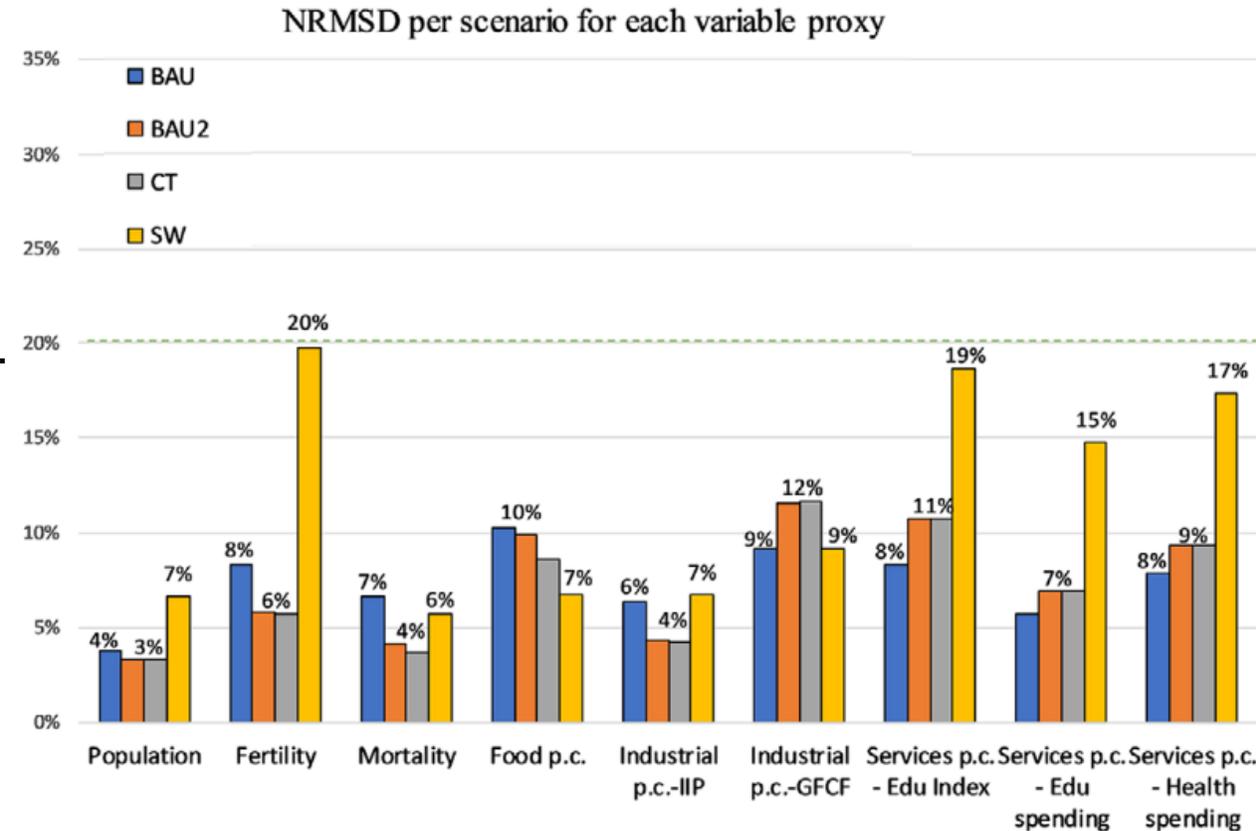
Zuvor gezeigte vier Szenarien: BAU, BAU2, CT und SW.

- Prognosegenauigkeit in der Regel besser als 20 %.
- Zumeist geringe Abweichungen bis 2020
- Genaueste Prognosen Szenarien BAU2 and CT.

Quelle: Herrington G. Update to limits to growth: Comparing the world3 model with empirical data. *Journal of Industrial Ecology*. 2020;1–13.

<https://doi.org/10.1111/jiec.13084>

Gaya Herrington, KPMG LLP, Los Angeles, California



5. Die Wahrheit: Vergleich von Prognosen und aktuellem Status

Genauigkeit der Prognosen

Empirische Weltdaten im Vergleich zu Daten für neue LtG-Szenarien, mit dem neuesten World3-Modell.

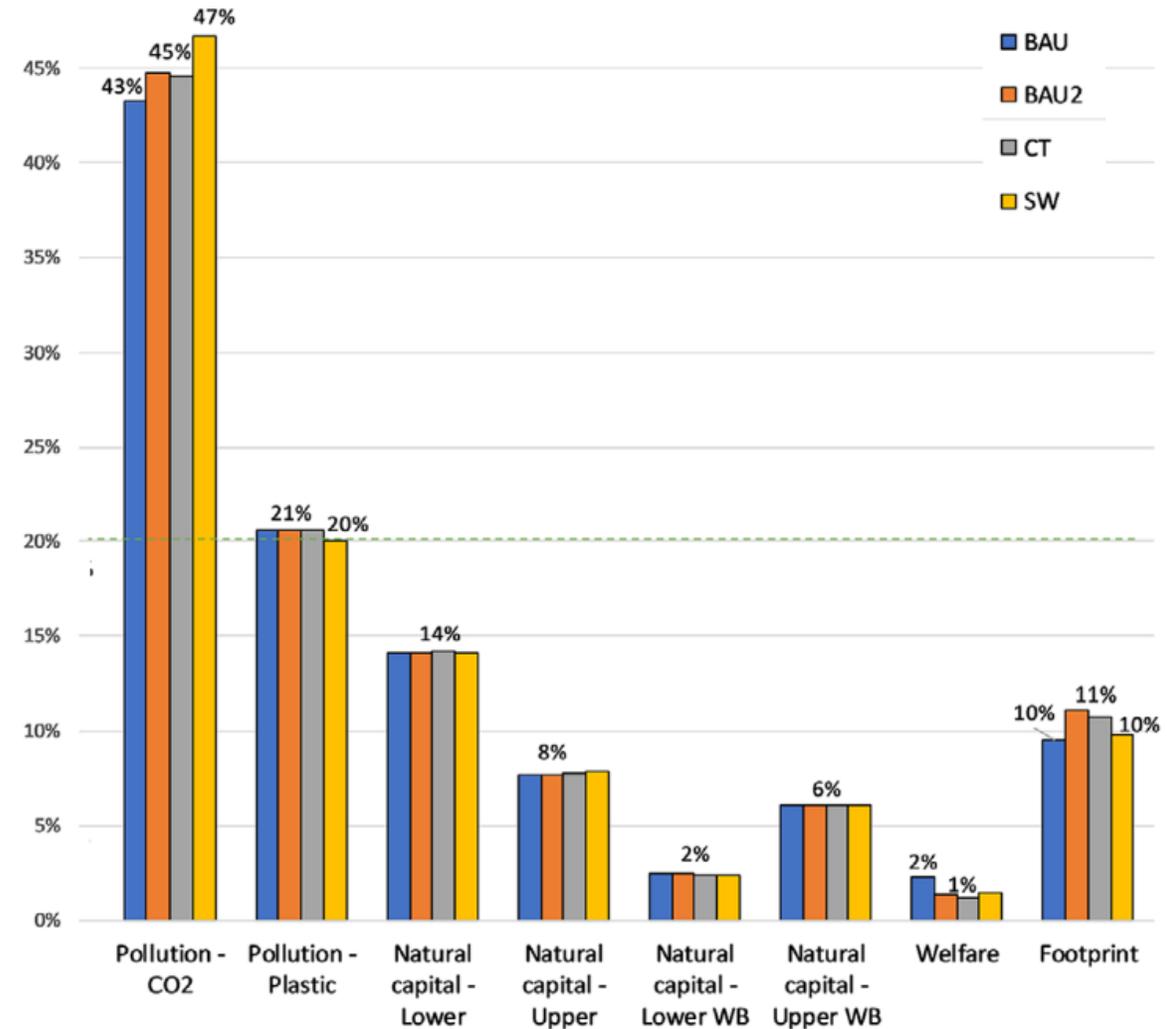
Zuvor gezeigte vier Szenarien: BAU, BAU2, CT und SW.

- Prognosegenauigkeit in der Regel besser als 20 %.
- Zumeist geringe Abweichungen bis 2020
- Genaueste Prognosen Szenarien BAU2 and CT.

Bewertung

- Extremwerte (Maxima/Minima) wurden bisher real nicht überschritten.
- Die Prognosen entsprechen bisher eher Hochrechnungen als systemdynamischen Berechnungen.

Quelle: <https://doi.org/10.1111/jiec.13084>



6. Kritiken an Grenzen des Wachstums: Vorwürfe, Diskussion und Gegenargumente

Henry Wallich, Yale University in Newsweek:

„Irresponsible nonsense“: Katastrophenszenarien propagierten stark von politischen Vorstellungen geprägte subjektive Zukunftsvisionen.

→ Meine Bewertung: Polemisch

Herman Kahn, Zukunftsforscher, Nuklearkrieg-Stratege:

Ausblenden des technischen Fortschritts durch reine Trendextrapolation.

→ Meine Bewertung: Richtig, aber neue Erfindungen kann man nicht prognostizieren.

Es wurden in LtG aber Lösungen für bestimmte negative Trends angenommen.

Julian L. Simon: Bevölkerungswachstum sei Voraussetzung, nicht Hindernis wirtschaftlichen Fortschritts.

→ Meine Bewertung: Das ist richtig, solange man nicht systemdynamisch analysiert.

Allen Kneese, Ronald Riker: Uneinheitliche Verwendung von Wachstumsfunktionen:

exponentiell bei Bevölkerung, Kapital und Umweltverschmutzung

Linear bei Technologien zur besseren Ressourcennutzung und verringerter Umweltverschmutzung

→ Meine Bewertung: Die Beobachtung ist richtig, aber die Verwendung der Wachstumsfunktionen wurde in LtG begründet.

6. Kritiken an Grenzen des Wachstums: Vorwürfe, Diskussion und Gegenargumente

Unbekannt: Vorwurf von neo-malthusianischem Vorgehen an Meadows.

→ Bewertung: Polemisch

Häufig: Kritik der Prognose des Versiegens einzelner Rohstoffe zu bestimmten Jahreszahlen.
„Die haben vorhergesagt, dass das Erdöl/Benzin in 30 Jahren ausgeht!“
Nichteintreffen wird benutzt, die Aussagen des Buches in Gänze zu diskreditieren.

→ Bewertung: Polemisch; dabei wird grundsätzlich ignoriert, dass

- solche „Reichweitenangaben“ aus offiziellen, validierten Quellen stammen
- diese Daten zunächst **Eingaben für das Modell** sind, und **keine Ergebnisse**
- Keine Aussagen über Einzelstoffe erfolgten, sondern summarisch (Technischer Fortschritt)
- Unsichere Datenlagen wurden über diverse Szenarien berücksichtigt.

Viele Kritiker zitieren GdW/LtG als Beispiel für unzutreffende, unrealistische Prognosen

→ Bewertung: Viele davon haben das Buch nicht gelesen oder nicht verstanden.

Verteidigung Robert Jungk, sinngemäß: „Frühe Landkarten hatten viele weiße Flecken und sie waren teilweise falsch, aber es waren Karten und man konnte versuchen, sich zu orientieren.“

7. Nachwirkung:

Einflüsse, die „Grenzen des Wachstums“ hatte

Die Nachwirkung:

- Zeitweilig hohe Reputation für System Dynamics und Kybernetik großer Systeme
- Gründung von Umwelt-NGOs
- Umweltbewegung mit großer Wirkung in Einzelbereichen
- Kernkraft
- Umweltgesetzgebung: SO₂-Ausstoß, Asbest, FCKW (Ozonloch), EU RoHS (Blei, Cadmium)
- Bio-Ernährung (Umweltverschmutzung <-> Gesundheit)
- Entstehen einer „Gegenreformation“

Keine direkten Konsequenzen

- Immer noch kein systembezogener Ansatz implementiert

8. Marketingfehler: Warum die Wissenschaft die Befunde schlecht verkauft hat

Naiver Glaube an die Vernunft

- Glaube, dass vernünftige wissenschaftliche Argumentation ausreicht.
- Weiterhin „Entschuldigung“ für Detailfehler in LtG (U. v. Weizsäcker, Badische Zeitung, 2022)
- Meinung, dass das Erkennen eines instabilen Zustands zu Ansätzen der Änderung führen wird
- Nichterkennen, dass zur Änderung realistische und machbare Rektionsszenarien notwendig sind.

Die letzten Punkte kann man schon durch Thermodynamik und chemische Kinetik begründen.

Entstehen einer „Gegenreformation“

- Beispielsweise der CO₂-bedingte Klimawandel war in der Ölindustrie seit 70ern bekannt (Exxon, ...)
- Massive PR-Gegenkampagnen entschlossener Gegner
- Diskreditierung von „Grenzen des Wachstums“ und kritischen Forschern
- Einlullen und Verzögerung durch „Wir müssen mehr forschen!“
Bringt Forschungsmittel auch für kritische Institute!

9. Ausblick: Warum es Hoffnung gibt

Bevölkerungswachstum und andere Faktoren

Bevölkerungswachstum:

- Jährliches Wachstum verlangsamt sich
- Regional hoch problematisch

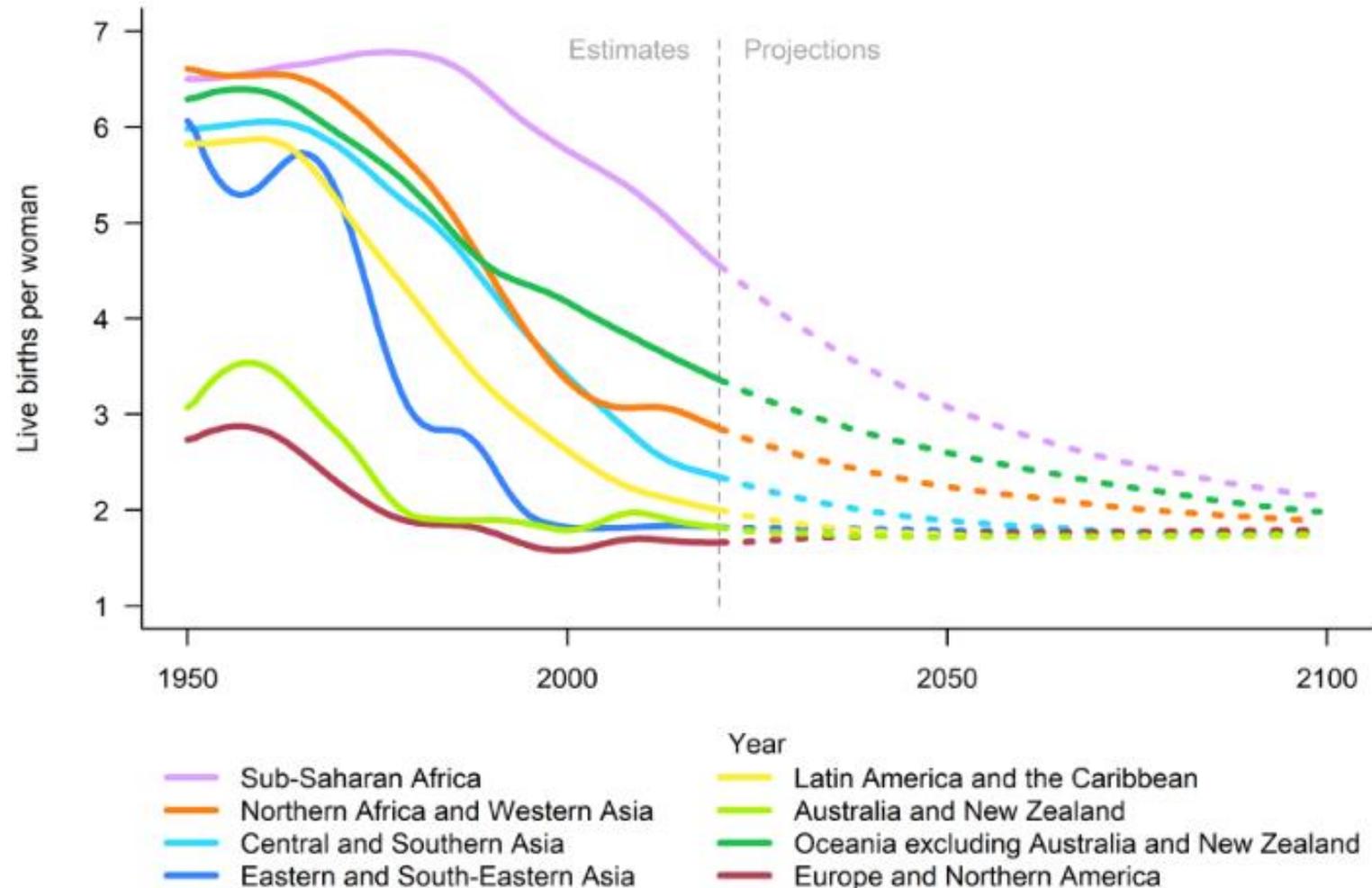
Technologischer Fortschritt:

- Fortschrittsrate ist sehr hoch
- Kapital fließt in nachhaltige Technologien
- Vom Entwicklungsstand abhängig

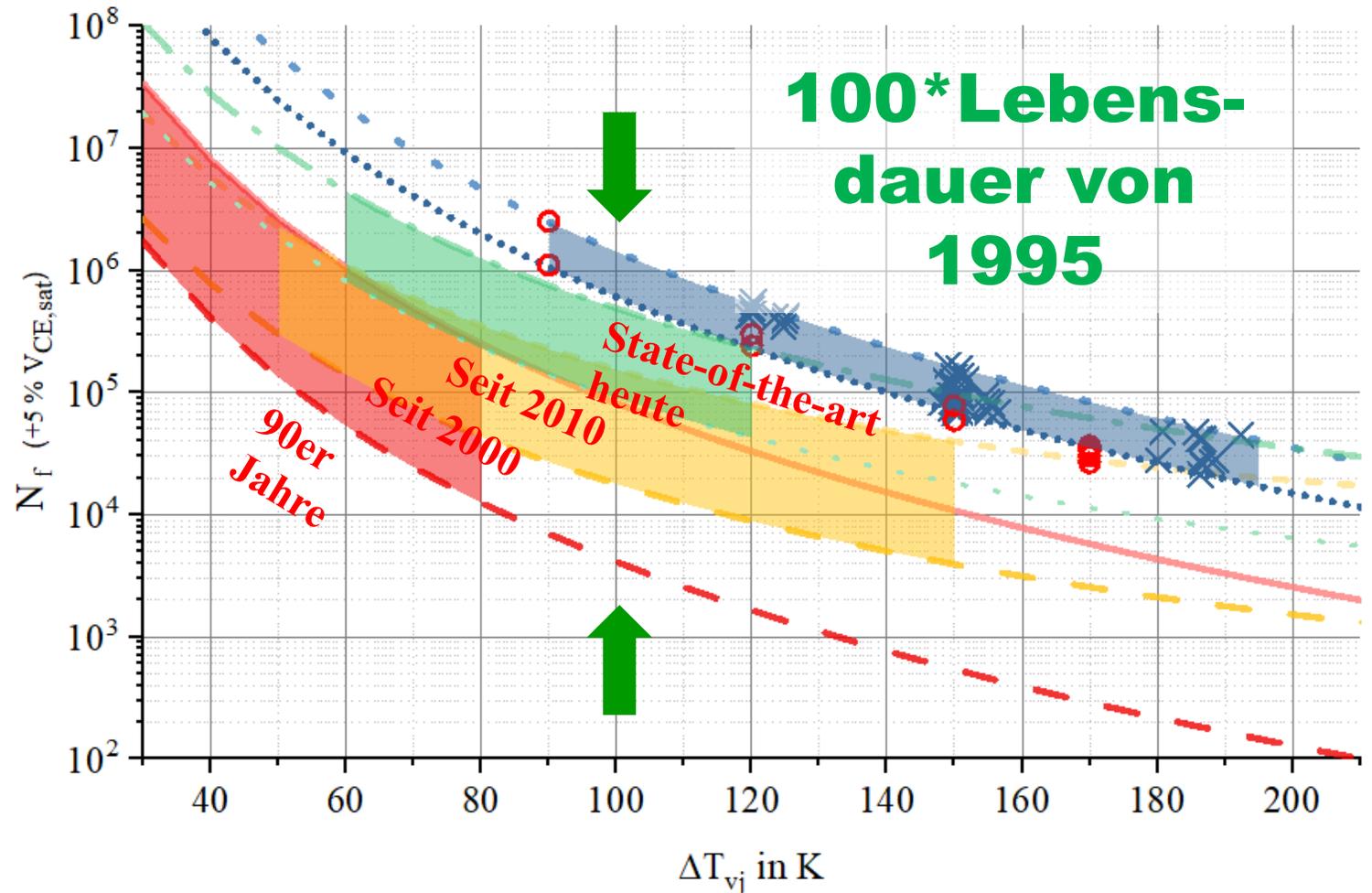
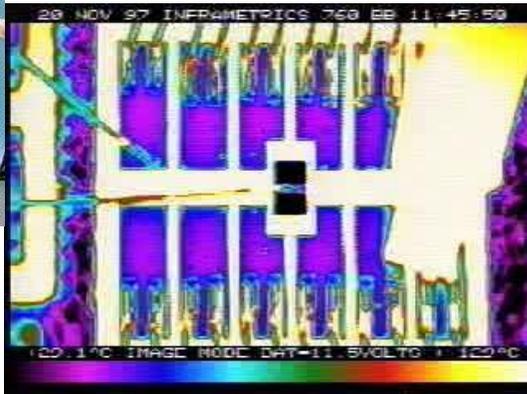
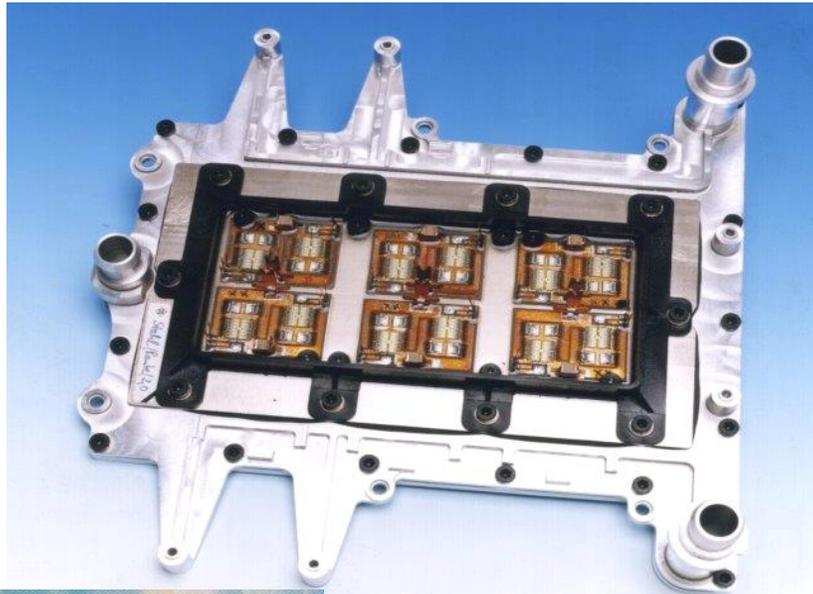
Schlüsselprobleme sind lösbar:

- Umstellung der Energiegewinnung auf nachhaltige Methoden
- CO₂-Reduktion und Klima
- Zustand der Weltmeere

Total fertility rate by region, estimates and projections, 1950-2100



9. Ausblick: Warum es Hoffnung gibt: Entwicklung des Stands der Technik.



10. Diskussion:

Denkansätze für Problembewusstsein und Lösungen

Industrieproduktion pro Kopf:

- Wachstum wird weiterhin als unverzichtbar angesehen.
- Kapitalmangel ist in entwickelten Ländern kein Problem. Eher die Frage, wie Geld anlegen.
- Rohstoffe und Energie: Verfügbarkeit wird nicht als problematisch angesehen.
PV, Wind, H₂ werden es richten.

Nahrungsmittel pro Kopf:

- Verfügbares Kapital, Agrarfläche und Effizienz weiter steigerbar - Massentierhaltung
- Umweltverschmutzung: Konzentration der globalen Aktivitäten auf CO₂-bedingte Klimaänderungen

Bevölkerungsanzahl: Steigt weiterhin

- Es wird registriert, dass sich die durchschnittliche Geburtenrate reduziert.
- Frage der Bevölkerungskontrolle wird von Politik systematisch ausgeklammert.
- Erreichbares Lebensalter und Raten sind weiterhin extrem vom Entwicklungsstand abhängig.