

Ein stark vereinfachtes „Weltmodell“

Dr. H. Wolff

Vor über 50 Jahren hat der *Club of Rome* unter dem Titel „Die Grenzen des Wachstums“ die Ergebnisse am MIT durchgeführter Studien auf der Basis eines sogenannten Weltmodells veröffentlicht.¹ Mit Hilfe dieses Weltmodells wurden die Zusammenhänge zwischen Bevölkerungswachstum, Ernährung, Industrialisierung, Wohlstand, Rohstoffreserven und Umweltzerstörung untersucht. Bahnbrechend waren hierbei nicht die enthaltenen Zukunftsprognosen, obwohl diese große Aufmerksamkeit erhielten, sondern die systemanalytische Methodik, die es erstmals erlaubte, diese komplexen Zusammenhänge unter Einsatz von Computersimulationen in ihrer Gesamtheit auszuwerten und so den Einfluss der verschiedenen Stellgrößen, z.B. der Geburtenrate, auf die Vielzahl miteinander verknüpfter Regelkreise zu verstehen.

Das Verständnis derartiger Zusammenhänge ist auch das Ziel des hier entwickelten, stark vereinfachten „Weltmodells“. Der Begriff „Weltmodell“ soll an die Pionierleistungen der Wissenschaftler vor über 50 Jahren erinnern, wird aber in Anführungszeichen gesetzt, da es kein globales Modell ist. Auch ist es für konkrete Zukunftsprognosen nicht geeignet. Es liefert keine absoluten Zahlen, sondern nur relative Veränderungen.

Das Modell

Während das ursprüngliche Weltmodell insgesamt 99 variable Größen hatte, beschränken wir uns hier auf 11 Systemvariable und 2 externe Einflussgrößen, die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind, sowie deren Wechselwirkungen.

Tabelle 1: Definition der Systemvariablen und externen Einflussgrößen

Systemvariable		
Name	Abk.	Beschreibung
Bevölkerung	B	Bevölkerungszahl des betrachteten Gebiets
Geburtenrate	GR	Geburtenrate in Prozent der Bevölkerung pro Jahr
Sterberate	SR	Sterberate in Prozent der Bevölkerung pro Jahr
Wohlstand	W	Durchschnittlicher Wohlstand pro Kopf der Bevölkerung
Bildung	Bi	Durchschnittliches Bildungsniveau der Bevölkerung
Medizin	M	Durchschnittliches Niveau der medizinischen Versorgung
Nahrung	N	Durchschnittlich verfügbare Nahrung pro Kopf der Bevölkerung

¹ D. Meadows et al., 1972, Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Deutsche Verlags-Anstalt. Faksimile der Originalversion *The Limits to Growth*: https://collections.dartmouth.edu/content/deliver/inline/meadows/pdf/meadows_ltg-001.pdf

Systemvariable		
Name	Abk.	Beschreibung
Landwirtschaft	L	Leistungsfähigkeit der Landwirtschaft
Industrie	I	Industrie und andere wertschöpfende Bereiche außerhalb der Landwirtschaft
Umweltschutz	U	Berücksichtigung des Umweltschutzes in Staat, Bevölkerung und Wirtschaft
CO ₂ -Emission	C	Gesamtmenge der emittierten Treibhausgase
Externe Einflussgrößen		
Name	Abk.	Beschreibung
Entwicklungshilfe	EH	Entwicklungshilfe und andere externe Hilfen, z.B. Nahrungsmittellieferungen, Investitionen; kann auf die Systemvariablen W bis U angewandt werden
Geburtenkontrolle	GK	Geburtenkontrolle (negativer Wert), wirkt sich nur auf die Geburtenrate aus

Erläuterungen:

Bis auf Geburtenrate und Sterberate, die in Prozent der Bevölkerung angegeben werden, werden alle Systemvariablen auf den Anfangswert 1 normiert.

Die Änderung der Bevölkerungszahl B ergibt sich aus der Geburtenrate GR und der Sterberate SR nach der Formel

$$B(J) = B(J-1) (1 + GR(J-1) - SR(J-1)),$$

wobei J das Jahr ist. Ist z.B. die Differenz GR - SR konstant 3%, verdoppelt sich die Bevölkerung alle 23½ Jahre.

Für alle anderen Systemvariablen wird die folgende Formel verwendet:

$$Y(J) = Y(J-1) + \sum (X(J-V_{XY}) - X(J-V_{XY}-1)) W_{XY}$$

Eine Veränderung der Variable X führt mit einer Verzögerung V_{XY} in Jahren zu einer Veränderung der Variable Y, die proportional zur Veränderung der Variable X ist, mit dem Proportionalitätsfaktor W_{XY} . Dies beginnt allerdings erst, wenn $J > V_{XY}$ ist.

Externe Einflussgrößen beschreiben Einflüsse, die nicht von den Systemvariablen abhängen. Sie verändern die Systemvariablen direkt um den angegebenen Betrag pro Jahr.

Beispiel Geburtenkontrolle: Durch GK = -0,1 verringert sich die Geburtenrate um 0,1 Prozentpunkte pro Jahr. Das Modell erlaubt die Beschränkung des Einflusses auf eine bestimmte Zahl von Jahren.

Es wird sichergestellt, dass keine Systemvariable negativ wird, bzw. bei Geburten- und Sterberate, dass der Wert in Prozent pro Jahr nicht unter 1 fällt.

Weitere Erläuterungen gibt es zu den einzelnen Szenarien.

Szenario 1: Basisszenario

Dieses Szenario beschreibt ein Gebiet mit einer hohen Geburtenrate von anfänglich 6% und einer hohen Sterberate von anfänglich 3% pro Jahr, jeweils bezogen auf die Gesamtbevölkerung. Eine Differenzierung nach Altersgruppen und Geschlecht erfolgt nicht. Deshalb ist in diesen Werten auch die Säuglingssterblichkeit enthalten. – Man könnte auch von einem „Dritte Welt-Modell“ sprechen.

Die nachfolgende Tabelle beschreibt die Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen in Form einer Wechselwirkungsmatrix **W**.

Tabelle 2a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 1

	GR	SR	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C
Bevölkerung	0,01	-0,01									
Geburtenrate					-5						
Sterberate						-5	-5				
Wohlstand			-0,5					0,2			
Bildung				0,5							
Medizin				0,2	0,2						
Nahrung			-0,5					1			
Landwirtschaft			0,2								
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission			0,5					0,1			

Erläuterungen:

Die Matrix beschreibt den Zusammenhang zwischen Ursache (Spalte) und Wirkung (Zeile), Beispiel Nahrung:

B = -0,5 Verdoppelt sich die Bevölkerung (B), halbiert sich dadurch die Nahrung pro Kopf.

L = 1 Verdoppelt sich die Landwirtschaft (L), verdoppelt sich dadurch die Nahrung pro Kopf.

Diese Asymmetrie ist darin begründet, dass die Wechselwirkungsmatrix **W** lineare Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung beschreibt, wodurch die Gültigkeit des Modells limitiert ist. Würde man B = -1 setzen, würde bei Verdoppelung der Bevölkerung die Nahrung pro Kopf auf null gehen, was natürlich unrealistisch ist.

Um Missverständnissen vorzubeugen: W = 0,5 in der Zeile Bildung bedeutet nicht, dass 50% des Wohlstandes für Bildung ausgegeben werden, sondern dass bei einer Zunahme des Wohlstandes ein nicht näher bestimmter Teil davon eingesetzt wird, um das Bildungsniveau anzuheben. Und zwar steigt bei einer Zunahme des Wohlstandes um 10% das Bildungsniveau um 5%.

Zu berücksichtigen außerdem, dass Geburtenrate und Sterberate in Prozent der Bevölkerung angegeben sind:

$N = -5$ Wenn sich die Nahrung pro Kopf (N) um 30% reduziert, steigt die Sterberate um 1,5 Prozentpunkte.

Aus dem gleichen Grund ist der Einfluss von Geburtenrate (GR) und Sterberate (SR) auf die Bevölkerungszahl durch die Faktoren 0,01 und -0,01 angegeben. Diese Werte können nicht verändert werden und werden deshalb in den folgenden Szenarien aus der Darstellung der Wechselwirkungs- und Verzögerungsmatrix ausgeblendet.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Verzögerungsmatrix **V** für Szenario 1.

Tabelle 2b: Verzögerungsmatrix für Szenario 1

	GR	SR	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C
Bevölkerung	1	1									
Geburtenrate					5						
Sterberate						1	1				
Wohlstand			1					1			
Bildung				1							
Medizin				1	10						
Nahrung			1					1			
Landwirtschaft			3								
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission			1					1			

Erläuterungen:

Die Matrix beschreibt die Verzögerung zwischen Ursache (Spalte) und Wirkung (Zeile). Die Verzögerung wird in der Einheit von Jahren angegeben.

Beispiel: Nimmt die Bildung (Bi) zu, hat dies nach durchschnittlich 5 Jahren Einfluss auf die Geburtenrate.

Übersicht der Ursache-Wirkung-Beziehungen:

Ursache Bevölkerung (B): Nimmt die Bevölkerung zu, nimmt der Wohlstand pro Kopf ab.
 Nimmt die Bevölkerung zu, nimmt die Nahrung pro Kopf ab.
 Nimmt die Bevölkerung zu, wächst aufgrund des größeren Nahrungsbedarfs die Landwirtschaft, allerdings erst verzögert.
 Nimmt die Bevölkerung zu, nehmen auch die CO₂-Emissionen, z.B. durch Heizen, Kochen etc., zu.

Ursache Wohlstand (W): Nimmt der Wohlstand zu, stehen mehr Mittel für Bildung und Medizin zur Verfügung, nimmt der Wohlstand ab, fehlen diese Mittel.

- Ursache Bildung (Bi): Nimmt die Bildung zu, nimmt die Geburtenrate insbesondere aufgrund der besseren Aufklärung ab,² allerdings mit einer Verzögerung.
Nimmt die Bildung zu, stehen mehr Kräfte für die medizinische Versorgung zur Verfügung, allerdings erst mit einer großen Verzögerung.
- Ursache Medizin (M): Eine bessere medizinische Versorgung reduziert die Sterberate.
- Ursache Nahrung (N): Eine bessere Ernährung reduziert die Sterberate.
- Ursache Landwirtschaft (L): Der Ausbau der Landwirtschaft fördert den Wohlstand der dort direkt oder indirekt Beschäftigten.
Der Ausbau der Landwirtschaft erhöht das Nahrungsangebot.
Der Ausbau der Landwirtschaft erhöht allerdings auch die Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen.

Sowohl die Werte in der Wechselwirkungsmatrix als auch in der Verzögerungsmatrix sind in den Grenzen der Plausibilität mehr oder weniger frei gewählt (siehe Erläuterungen zu Szenario 5 auf Seite 17). Ziel sind ja keine quantitativen, sondern qualitative Aussagen.

Externe Einflüsse werden in diesem Szenario noch nicht berücksichtigt, ebenso Industrie und Umweltschutz.

In diesem (einfachsten) Szenario betrachten wir 9 Systemvariable mit 13 Wechselwirkungsparametern sowie 3 Verzögerungsparametern und 2 Anfangswerten, deren Wert vom Standardwert 1 abweicht, also insgesamt 27 variable Größen. Das ist, verglichen mit den 99 variablen Größen des Weltmodells des *Club of Rome*, noch wenig, beinhaltet aber schon eine erhebliche Komplexität, und die nimmt in den folgenden Szenarien noch deutlich zu (siehe Seite 21).

Ergebnisse:

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung von Geburten- und Sterberaten sowie der Bevölkerung in Szenario 1 über 30 Jahre.

² Entscheidend ist hierbei natürlich, dass auch Frauen Zugang zu Bildung haben und nicht mehr auf Gedeih und Verderb von ihren Vätern bzw. Ehemännern abhängig sind. Genau das versuchen fundamentalistische Staaten zu verhindern. Darüber hinaus setzt sich mit der Zeit bei den Eltern die Erkenntnis durch, dass es zu größerem Wohlstand führt, in die Bildung von wenigen Kindern zu investieren als in deren schiere Zahl. Literatur zu diesem Thema: Oded Galor, *The Journey of Humanity – Die Reise der Menschheit durch die Jahrtausende – Über die Entstehung von Wohlstand und Ungleichheit*, dtv, 2022

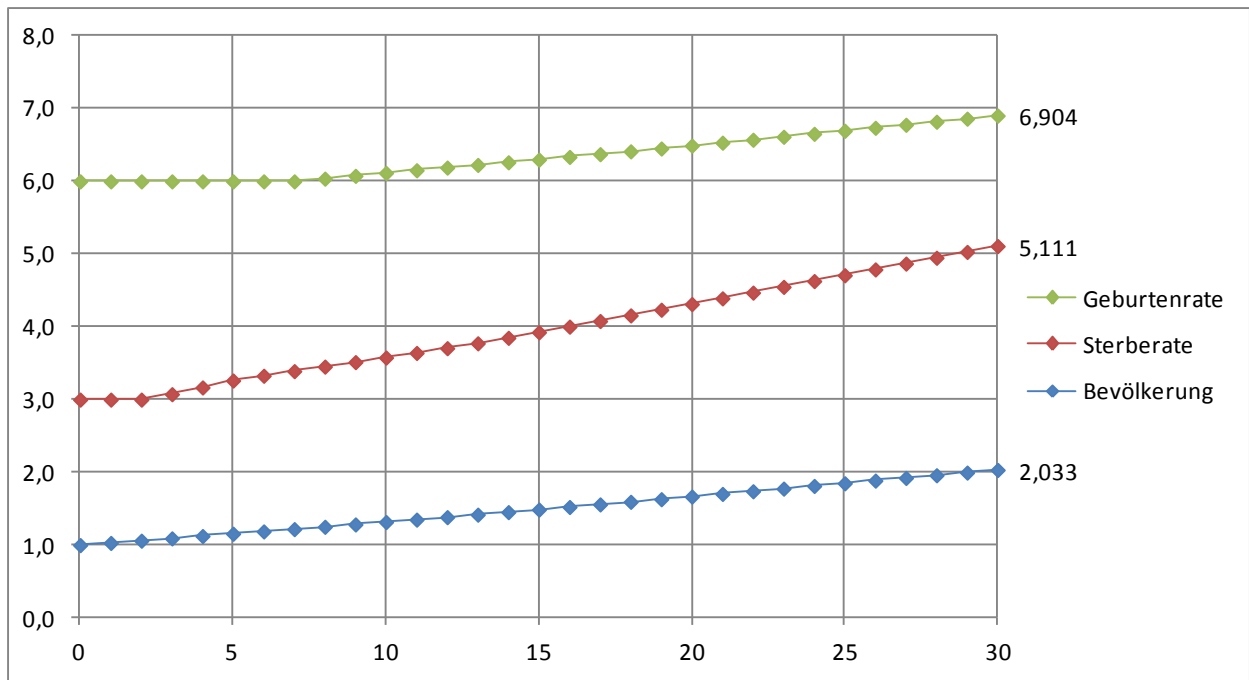


Abb. 1a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 1

Geburten- und Sterberate steigen, ihre Differenz nimmt aber von 3% auf weniger als 2% ab. Die Bevölkerung verdoppelt sich in diesem Zeitraum in etwa. Diese Entwicklung erklärt sich aus der Entwicklung der anderen Systemvariablen, die in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

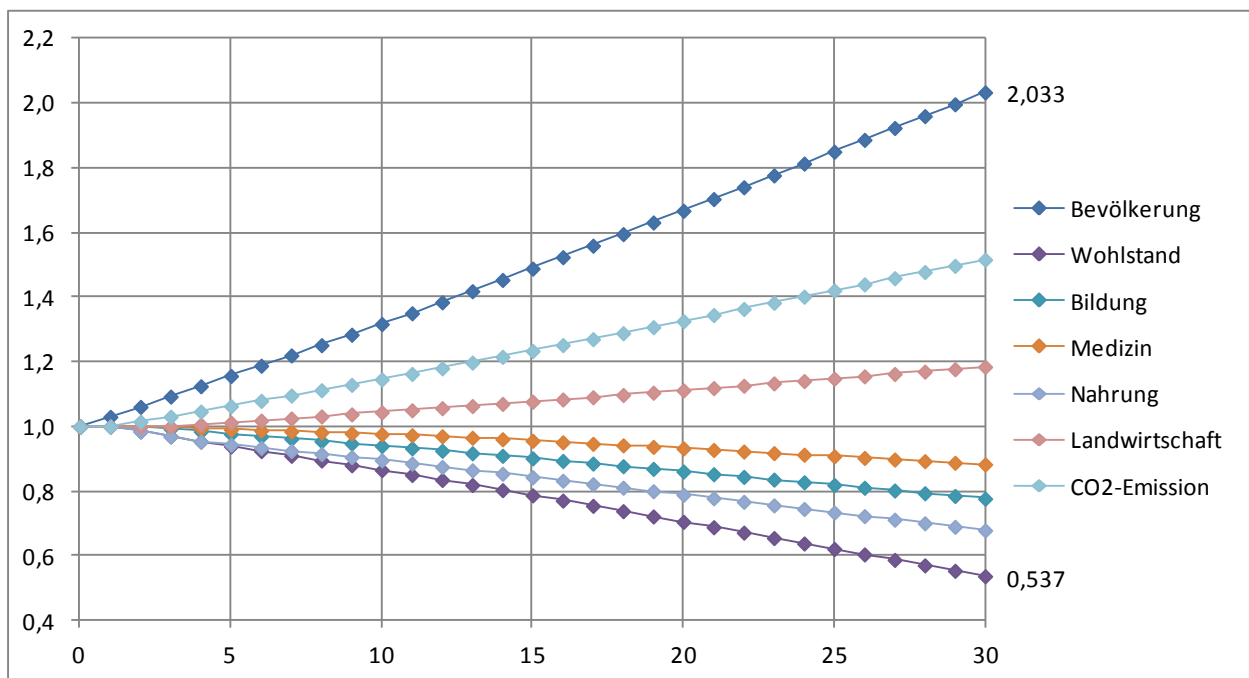


Abb. 1b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 1

Durch das Bevölkerungswachstum verteilen sich Nahrung und Wohlstand auf mehr Köpfe, d.h. pro Kopf nehmen sie ab. Der Ausbau der Landwirtschaft kann diesen Effekt nur abmildern.

Mit abnehmendem Wohlstand verschlechtern sich auch die medizinische Versorgung und die Bildungschancen. Aufgrund der schlechteren Bildung nimmt die Geburtenrate zu. Zugleich steigt wegen der schlechteren medizinischen und Nahrungsversorgung auch die Sterberate.

Eine Stabilisierung ist in diesem Basisszenario nicht erkennbar. Dazu untersuchen wir weitere Szenarien.

Szenario 2: Geburtenkontrolle

Die Ursache für die Probleme in Szenario 1 ist offensichtlich: Die starke Bevölkerungszunahme aufgrund der hohen Differenz zwischen Geburten- und Sterberate. Damit liegt nichts näher, als die Geburtenrate mittels Geburtenkontrolle zu reduzieren. Wie effektiv das ist, wird in Szenario 2 untersucht.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Wechselwirkungs- und Verzögerungsmatrix für dieses Szenario.

Tabelle 3a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 2³

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-5								-0,1
Sterberate				-5	-5						
Wohlstand	-0,5					0,2					
Bildung		0,5									
Medizin		0,2	0,2								
Nahrung	-0,5					1					
Landwirtschaft	0,2										
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	0,5					0,1					

Tabelle 3b: Verzögerungsmatrix für Szenario 2³

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								25
Sterberate				1	1						
Wohlstand	1					1					
Bildung		1									
Medizin		1	10								
Nahrung	1					1					
Landwirtschaft	3										
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	1					1					

³ Gelb unterlegt sind jeweils die Änderungen zum vorherigen Szenario.

Erläuterungen:

Gegenüber Szenario 1 ist hier nur die Geburtenkontrolle (GK) mit dem Wert -0,1 hinzugekommen. Dies bedeutet, dass die Geburtenrate um 0,1 Prozentpunkte pro Jahr verringert wird. In der Verzögerungsmatrix bedeutet der Wert 25, dass diese Geburtenkontrolle im 25. Jahr zum letzten Mal angewendet wird.

Die Geburtenkontrolle ist in unserem „Weltmodell“ definitionsgemäß eine externe Einflussgröße, da sie nicht von den Systemvariablen abhängt. In der praktischen Anwendung ist es aber eher eine interne Maßnahme, die möglicherweise von außen gefordert und/oder unterstützt wird.

Ergebnisse:

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis.

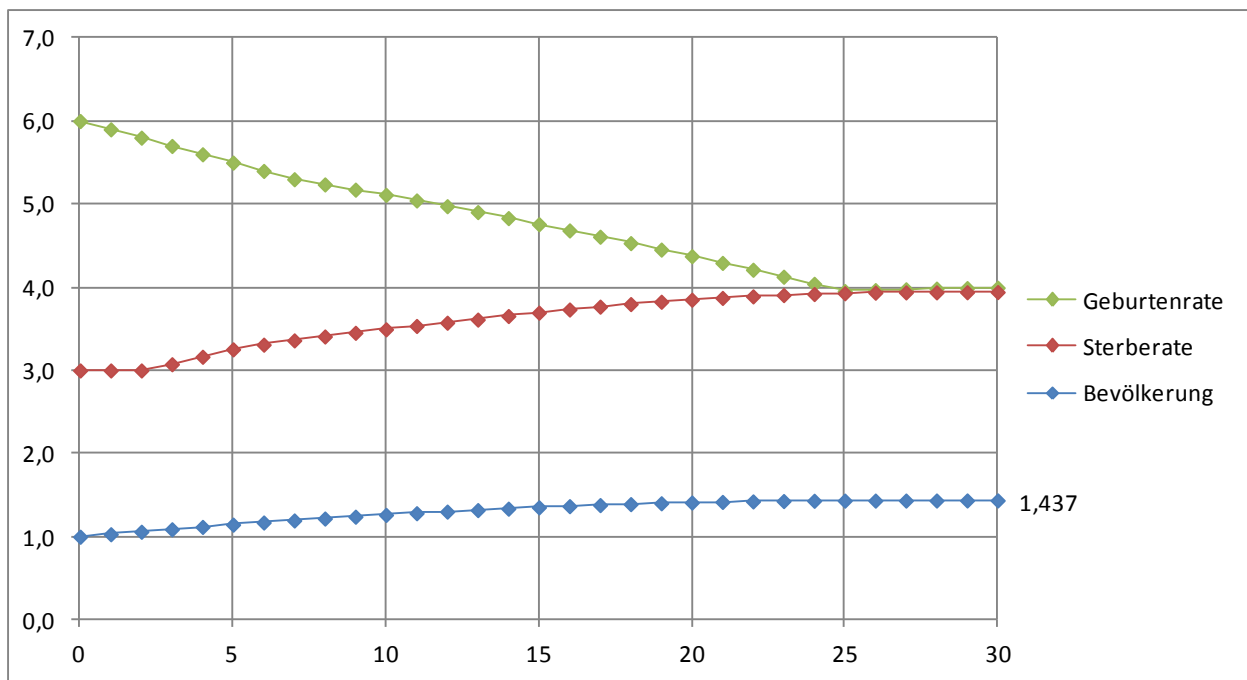


Abb. 2a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 2

Geburten- und Sterberate laufen bei ca. 4,0% zusammen und stabilisieren so die Bevölkerungszahl 43,7% über dem Ausgangswert.

Die Entwicklung der anderen Systemvariablen ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.

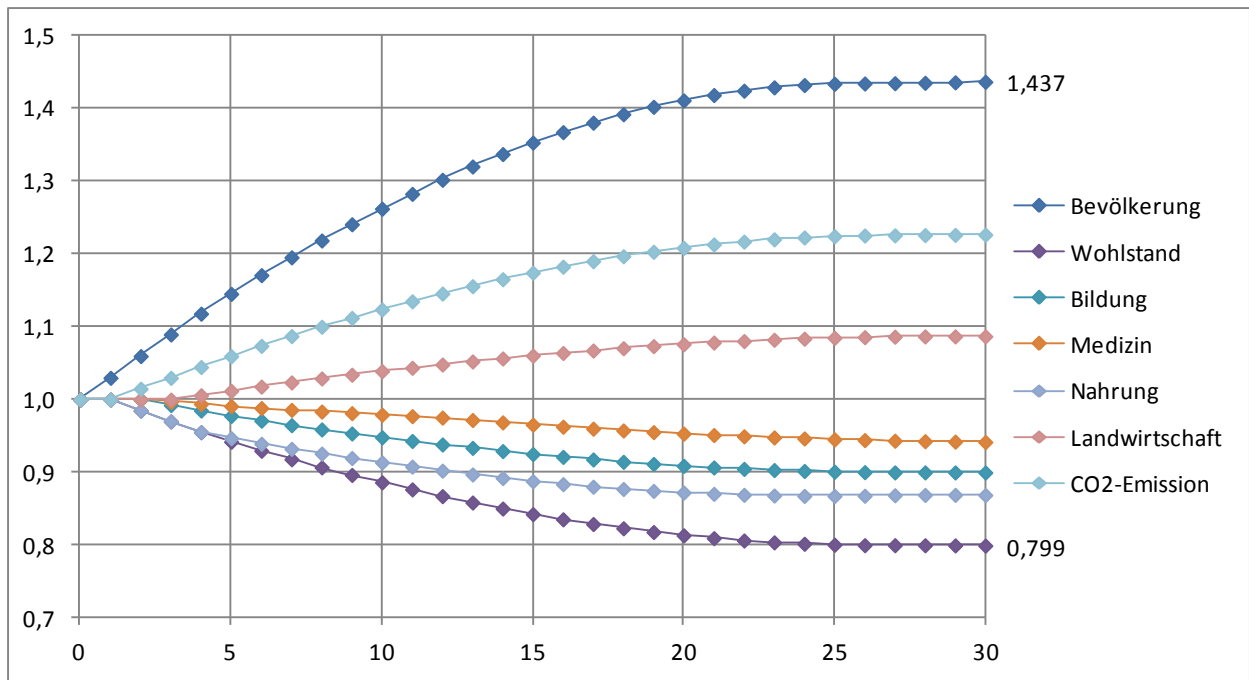


Abb. 2b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 2

Auch alle anderen Systemvariablen stabilisieren sich nach 25 Jahren.

Szenario 2A:

Erhöht man die Geburtenkontrolle auf -0,25 Prozentpunkte pro Jahr über 16 Jahre, kann man das System praktisch wieder in den Ausgangszustand zurückbringen, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen.

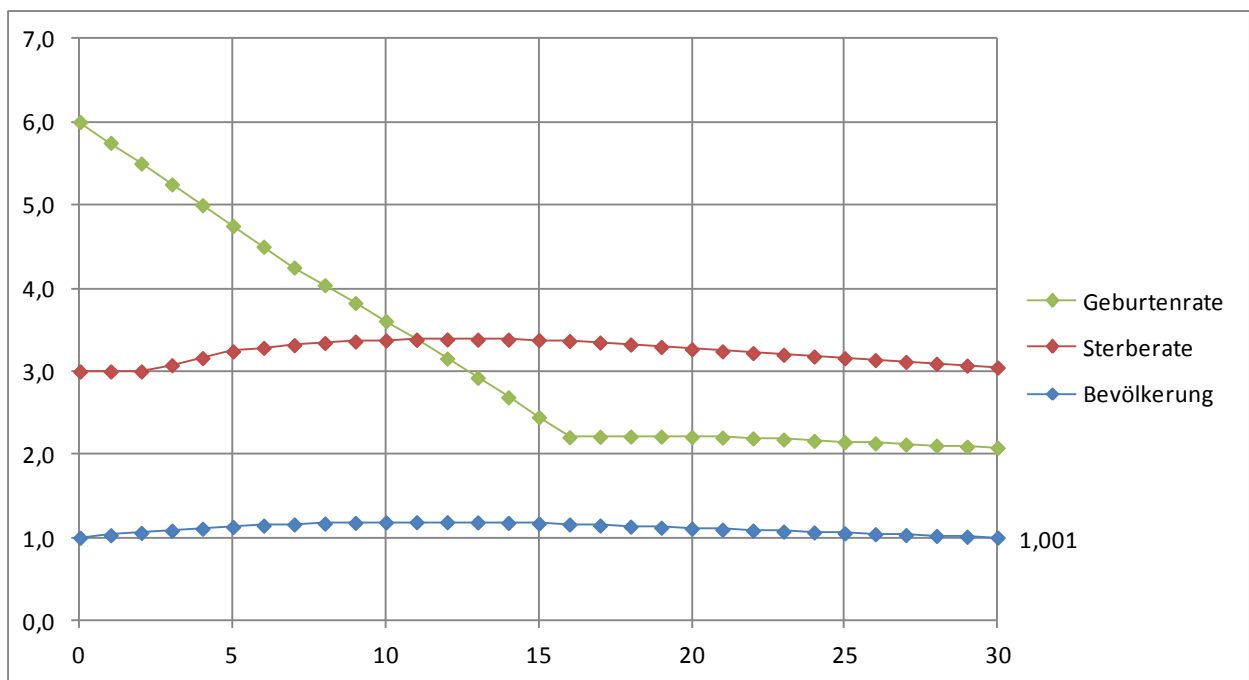


Abb. 3a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 2A

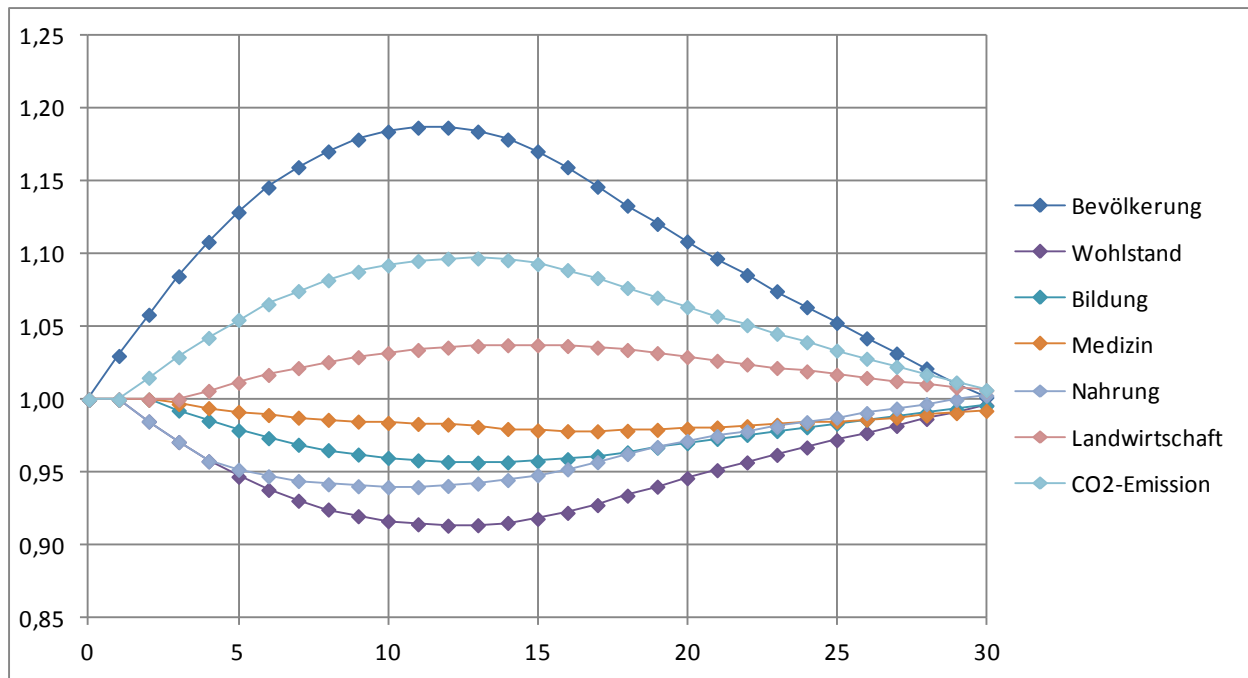


Abb. 3b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 2A

Bewertung:

Diese Szenarien zeigen, dass es allein mit einer entschiedenen Geburtenkontrolle möglich ist, durch ungezügelter Bevölkerungswachstum entstehende Probleme unter Kontrolle zu bringen. Die Frage zu diskutieren, warum in der Praxis nur China mit der „Ein-Kind-Politik“⁴ so verfahren hat, ist nicht Gegenstand dieser Studie, wohl aber alternative Szenarien zu untersuchen.

Szenario 3: Humanitäre Hilfe

In diesem Szenario werden nicht die Ursachen der Überbevölkerung angegangen, sondern nur deren humanitäre Folgen durch Zuführung von Nahrung und medizinischer Versorgung. Die nachfolgenden Tabellen zeigen dies.

Tabelle 4a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 3

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-5								
Sterberate				-5	-5						
Wohlstand	-0,5					0,2					
Bildung		0,5									
Medizin		0,2	0,5							0,01	
Nahrung	-0,5					1				0,02	
Landwirtschaft	0,2										
Industrie											

⁴ China hat von 1980 bis 2004 mit der „Ein-Kind-Politik“ eine strikte Geburtenkontrolle betrieben, mit Einschränkungen bis 2015, näheres siehe z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ein-Kind-Politik>.

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	0,5					0,1					

Tabelle 4b: Verzögerungsmatrix für Szenario 3

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								
Sterberate				1	1						
Wohlstand	1					1					
Bildung		1									
Medizin		1	10							30	
Nahrung	1					1				30	
Landwirtschaft	3										
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	1					1					

Erläuterungen:

In der Spalte EH der Wechselwirkungsmatrix wird die Größe der medizinischen und Nahrungsmittelhilfe angegeben, in der Spalte EH der Verzögerungsmatrix deren Dauer.

Der Wert 0,02 in der Zeile Nahrung bedeutet, dass jedes Jahr 2% der Nahrung im Rahmen der Hilfsmaßnahmen zugeliefert werden. Der Wert 30 in der Verzögerungsmatrix bedeutet, dass die externen Hilfen über die gesamte Simulationslaufzeit von 30 Jahren andauern.

Außer in den Spalten EH und GK gibt es keine Änderungen in der Wechselwirkungs- und der Verzögerungsmatrix gegenüber den vorherigen Szenarien.

Ergebnisse:

Das Ergebnis kann den nachfolgenden Abbildungen entnommen werden.

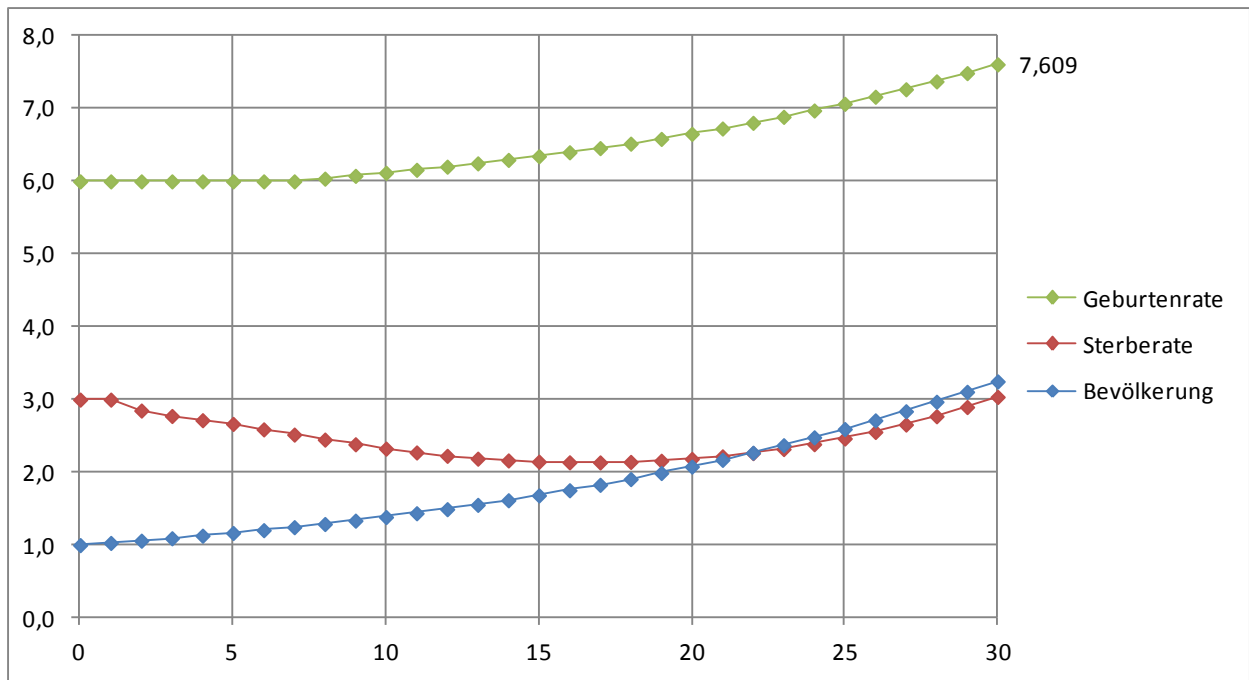


Abb. 4a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 3

Die Bevölkerung steigt weit schneller als in Szenario 1, weil die Sterberate durch die medizinische und Nahrungsmittelhilfe zumindest vorübergehend sinkt, während die Geburtenrate un-
 aufgehörtlich steigt. Letzteres kann in diesem Szenario, wie ein Blick auf Tabelle 4a zeigt, nur an
 der abnehmenden Bildung liegen, die in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

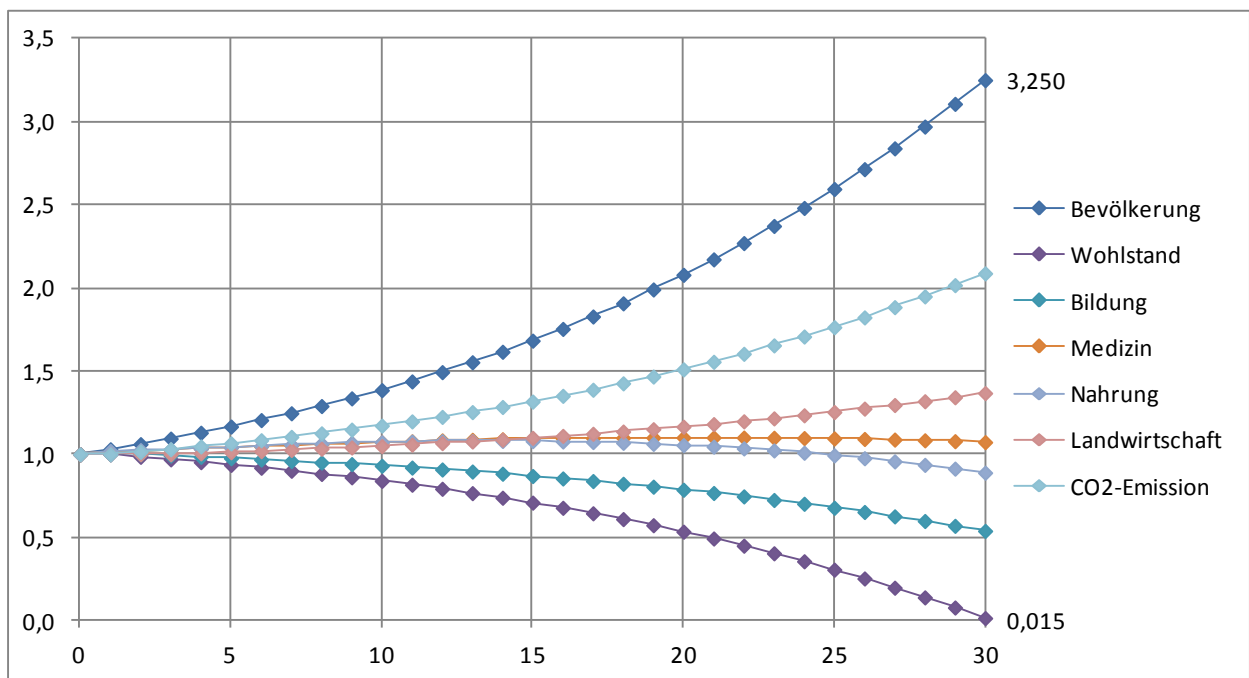


Abb. 4b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 3

Die Abbildung zeigt auch, dass der angesetzte Umfang der medizinischen und Nahrungsmittel-
 hilfe so groß ist, dass bei Medizin und Nahrung das Niveau in etwa gehalten wird. Wohlstand

und Bildung fallen jedoch aufgrund der Überbevölkerung stark ab. – Große Teile der Bevölkerung verelenden und benötigen immer mehr externe Hilfe.

Der Rückgang des Wohlstandes praktisch auf null zeigt die Grenzen des linearen Modells. Die aufgezeigten Trends und die Vergleiche mit anderen Szenarien des Modells behalten aber ihre Gültigkeit.

Szenario 4: Hilfe zur Selbsthilfe

In Ergänzung zu den humanitären Hilfen in den Bereichen Medizin und Nahrung wird in den Bereichen Bildung und Landwirtschaft Entwicklungshilfe geleistet, wie aus den nachfolgenden Tabellen ersichtlich ist.

Tabelle 5a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 4

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-5								
Sterberate				-5	-5						
Wohlstand	-0,5			0,1		0,2					
Bildung		0,5								0,05	
Medizin		0,2	0,2							0,01	
Nahrung	-0,5					1				0,01	
Landwirtschaft	0,2		0,1							0,02	
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	0,5					0,1					

Tabelle 5b: Verzögerungsmatrix für Szenario 4

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								
Sterberate				1	1						
Wohlstand	1			1		1					
Bildung		1								20	
Medizin		1	10							10	
Nahrung	1					1				5	
Landwirtschaft	3		5							20	
Industrie											
Umweltschutz											
CO ₂ -Emission	1					1					

Erläuterungen:

Wir berücksichtigen hier, dass eine verbesserte Bildung auch positive Effekte auf die Landwirtschaft hat, allerdings mit einer Verzögerung von 5 Jahren. Außerdem kann durch die Mitarbeit

der einheimischen Bevölkerung in der medizinischen Versorgung ein kleiner Beitrag zum Wohlstand erzielt werden.

Sowohl die humanitären Hilfen als auch die Entwicklungshilfe werden zeitlich begrenzt (Spalte EH in der Verzögerungsmatrix).

Alle anderen Parameter bleiben gleich.

Ergebnisse:

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse.

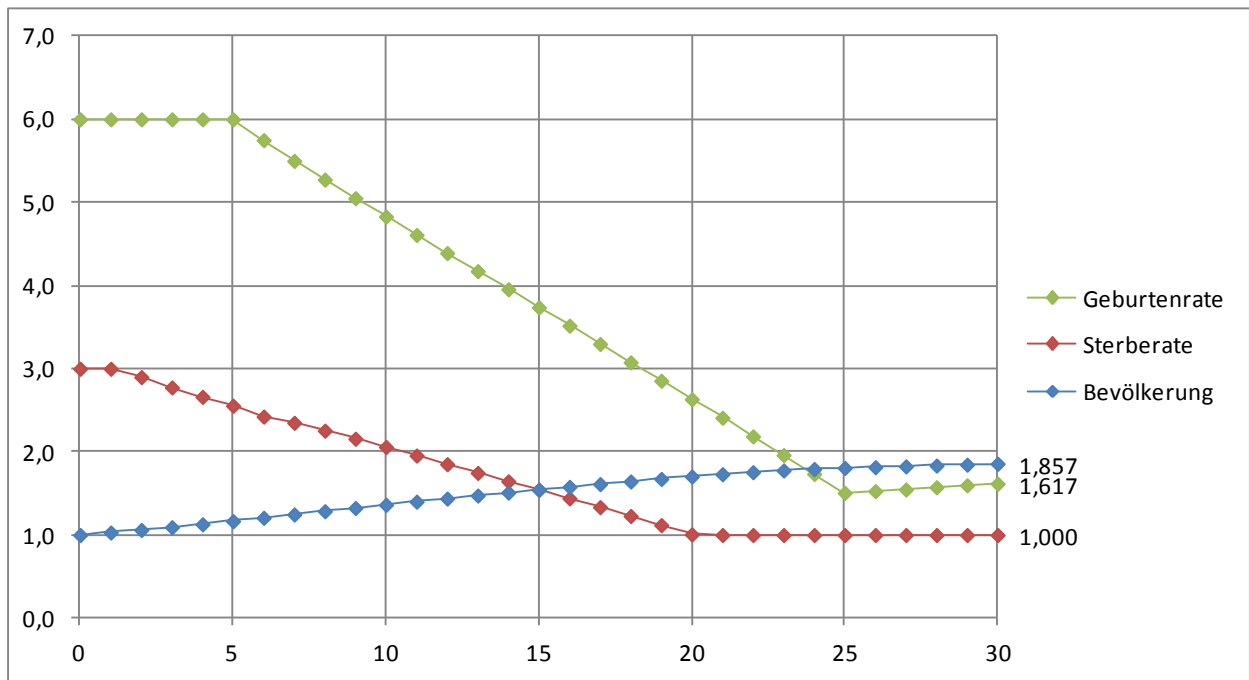


Abb. 5a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 4

Hier ist zu sehen, dass bei der Sterberate die Begrenzung auf mindestens 1% pro Jahr wirksam wird.

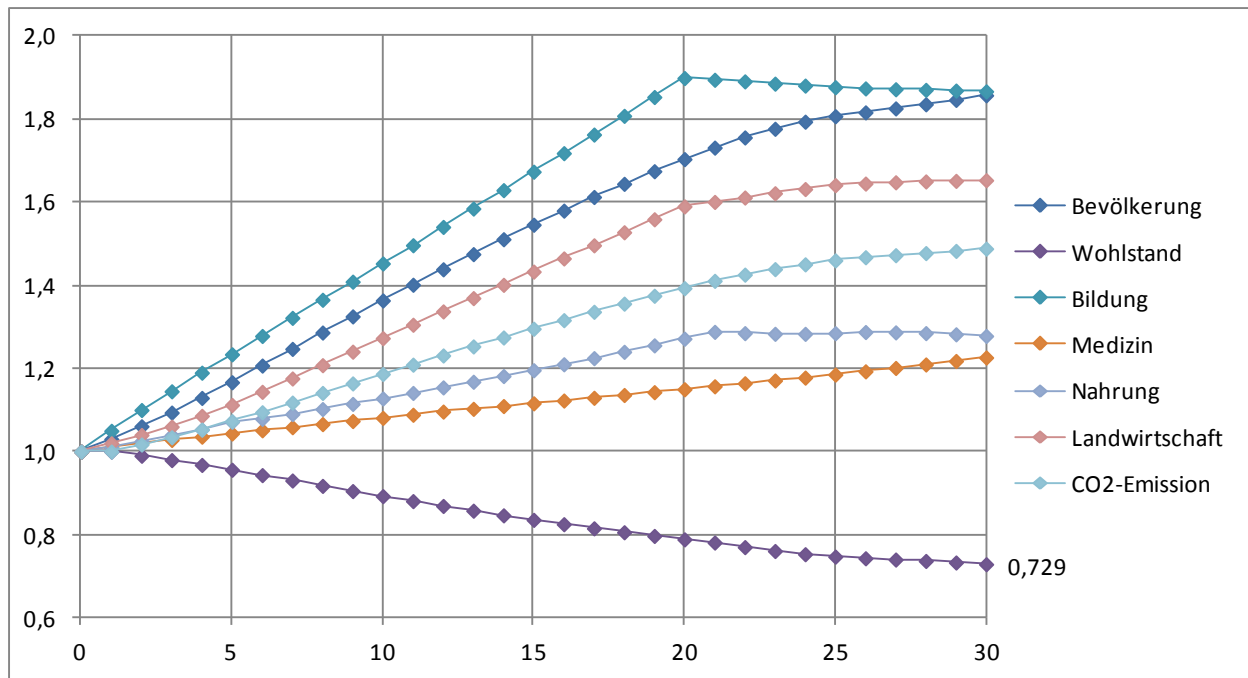


Abb. 5b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 4

Bis auf den Wohlstand zeigen alle Systemvariablen einen positiven Trend. Die zeitlich begrenzten direkten humanitären Hilfen mit Nahrungsmitteln und medizinischer Versorgung sind ausreichend. Ihre Wirkung wird durch die Entwicklungshilfe für die Landwirtschaft und die Bildung abgelöst.

Nach Ende der Entwicklungshilfe nach 20 Jahren bleiben die Bildung und die Nahrungsversorgung auf einem relativ hohen Niveau. Bei der medizinischen Versorgung folgt der gleiche Effekt verzögert, ist deshalb in Abb. 5b nicht mehr zu sehen. Die Bevölkerung wächst langsam weiter, der Anstieg schwächt sich aber ab.

Bewertung:

Hier zeigt sich, dass die Hilfe zur Selbsthilfe im Vergleich zu einer rein humanitären Hilfe (Szenario 3) auf Dauer sehr viel effizienter ist.

Szenario 4A:

Kombiniert man Szenario 4 mit Szenario 2, nimmt man also noch die Geburtenkontrolle $GK = -0,1$ hinzu, d.h. reduziert man die Geburtenrate zusätzlich um 0,1 Prozentpunkte pro Jahr, hier über 15 Jahre, stabilisiert sich die Bevölkerung nach 20 Jahren.

Alle anderen Parameter sind identisch mit Szenario 4. Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.

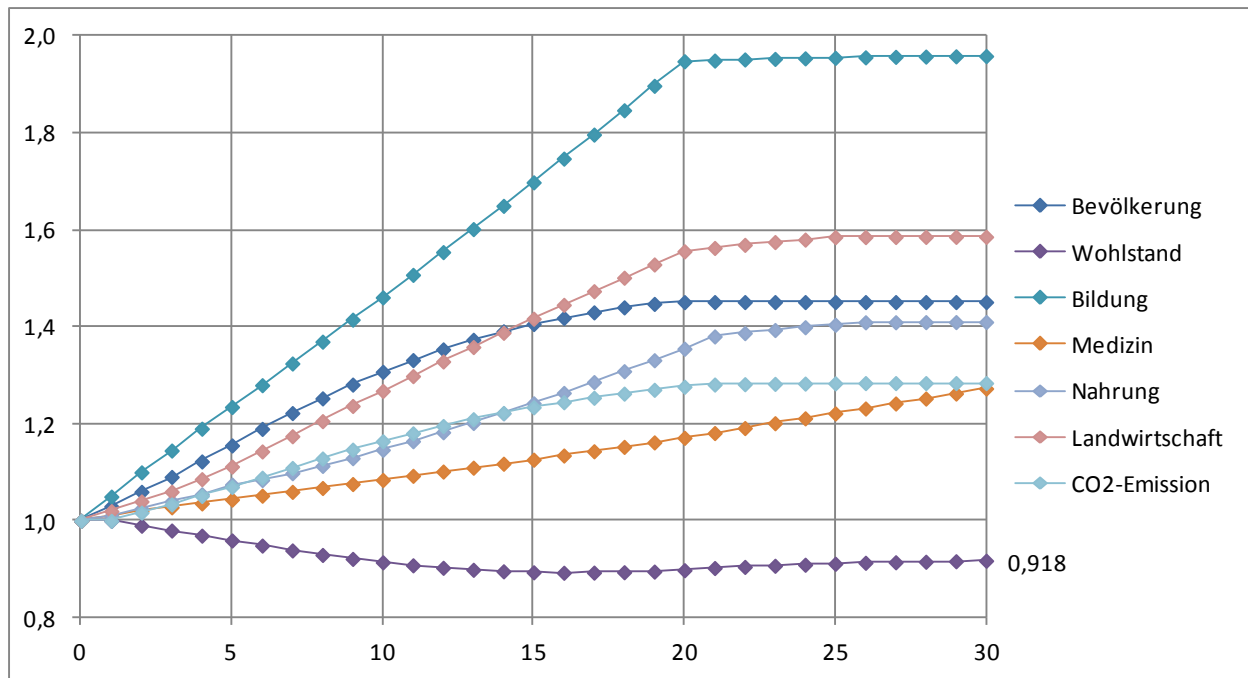


Abb. 6: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 4A

Die Bevölkerung steigt nur um 45,1% (Szenario 4: 85,7%). Dadurch verbessert sich das Bild insgesamt, auch der Wohlstand nimmt nicht so stark ab.

Das Problem beim Wohlstand ist, dass nur ein Teil der Bevölkerung vom Ausbau der Landwirtschaft und der medizinischen Versorgung finanziell profitiert. Dieses Problem soll im nächsten Szenario angegangen werden.

Szenario 5: Industrialisierung

In diesem Szenario werden die Auswirkungen untersucht, die sich durch einen starken Ausbau der Industrie, hauptsächlich durch externe Investitionen, ergeben.

Tabelle 6a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 5

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-4								
Sterberate				-4	-1			-1			
Wohlstand	-0,5			0,1		0,2	0,6				
Bildung		0,3								0,05	
Medizin		0,2	0,2							0,01	
Nahrung	-0,5					1				0,01	
Landwirtschaft	0,2	0,2	0,1							0,02	
Industrie	0,3	0,2	0,3							0,1	
Umweltschutz		0,1	0,1								
CO ₂ -Emission	0,5	0,4				0,1	0,4	-0,5			

Tabelle 6b: Verzögerungsmatrix für Szenario 5

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								
Sterberate				1	1			10			
Wohlstand	1			1		1	1				
Bildung		1								15	
Medizin		1	10							10	
Nahrung	1					1				5	
Landwirtschaft	3	1	5							20	
Industrie	3	1	5							30	
Umweltschutz		1	5								
CO ₂ -Emission	1	1				1	1	1			

Erläuterungen:

Der Wert 0,4 für die Auswirkungen der Industrie (I) auf die CO₂-Emissionen ergibt sich aus den Werten für den Anteil der Bevölkerung (B) und der Landwirtschaft (L) in der Zeile, damit die Summe 1 ergibt. Diese Werte in dieser Zeile sind so zu interpretieren, dass im Jahr J = 0 der Simulation der Anteil der Bevölkerung an den CO₂-Emissionen 50% beträgt, der der Landwirtschaft 10% und der der Industrie 40%. Da die Systemvariablen B, L und I sich unterschiedlich entwickeln, verändern sich im Lauf der Simulation natürlich auch deren Anteile an den CO₂-Emissionen. Hinzu kommt der Einfluss des wachsenden Wohlstands, der die CO₂-Emissionen zusätzlich erhöht, z.B. durch vermehrten Autoverkehr.

Mit steigendem Wohlstand wachsen andererseits auch die Möglichkeiten für den Umweltschutz und mit steigender Bildung das Bewusstsein dafür, was zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen führt. Der Umweltschutz hat auch einen, wenn auch geringen und zeitverzögerten Einfluss auf die Sterberate.

Die Industrie wird mit dem Faktor 0,1 extern stark gefördert und steigt deshalb linear um 10% des Ausgangswerts pro Jahr. Hinzu kommt eine interne Steigerung der Industrie durch die Zunahme der Bevölkerungszahl (B), des Wohlstands pro Kopf (W) und der Bildung (Bi).

Um das Bevölkerungswachstum in diesem Modell realistisch zu simulieren, müssen die linear modellierten Einflussfaktoren auf die Geburten- und Sterberate reduziert werden, denn die ursächlichen Systemvariablen steigen stark an (vgl. Abb. 7b). Außerdem wird festgelegt, dass die Geburtenrate nicht unter 2% fällt und die Sterberate nicht unter 1%.

Anmerkung:

Ein Vergleich mit Szenario 7 zeigt, dass dort Rückzahlungen von Krediten berücksichtigt sind, die für Investitionen in den Umweltschutz vergeben werden. In Szenario 5 ist das bei den Investitionen in die Industrie nicht der Fall. Das kann man so interpretieren, dass ein Teil der in der

Industrie erwirtschafteten Gewinne direkt an die Investoren zurückfließt und deshalb in der Simulation nicht auftaucht.

Ergebnisse:

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Simulation.

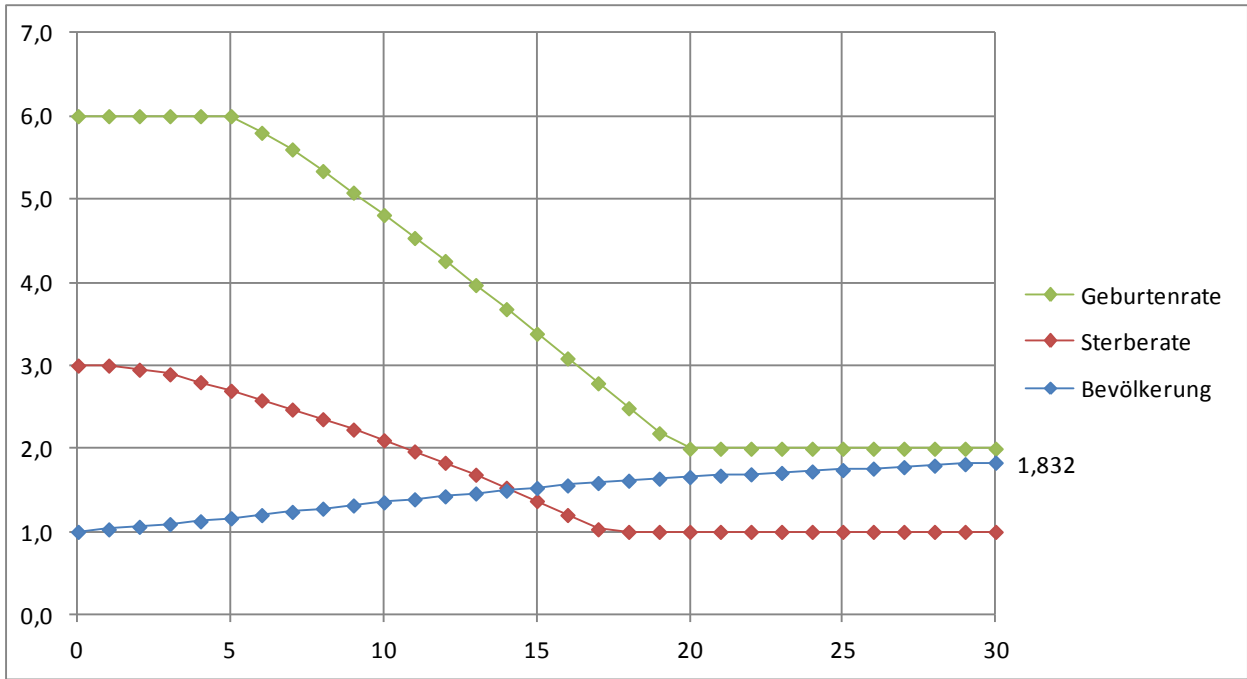


Abb. 7a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 5

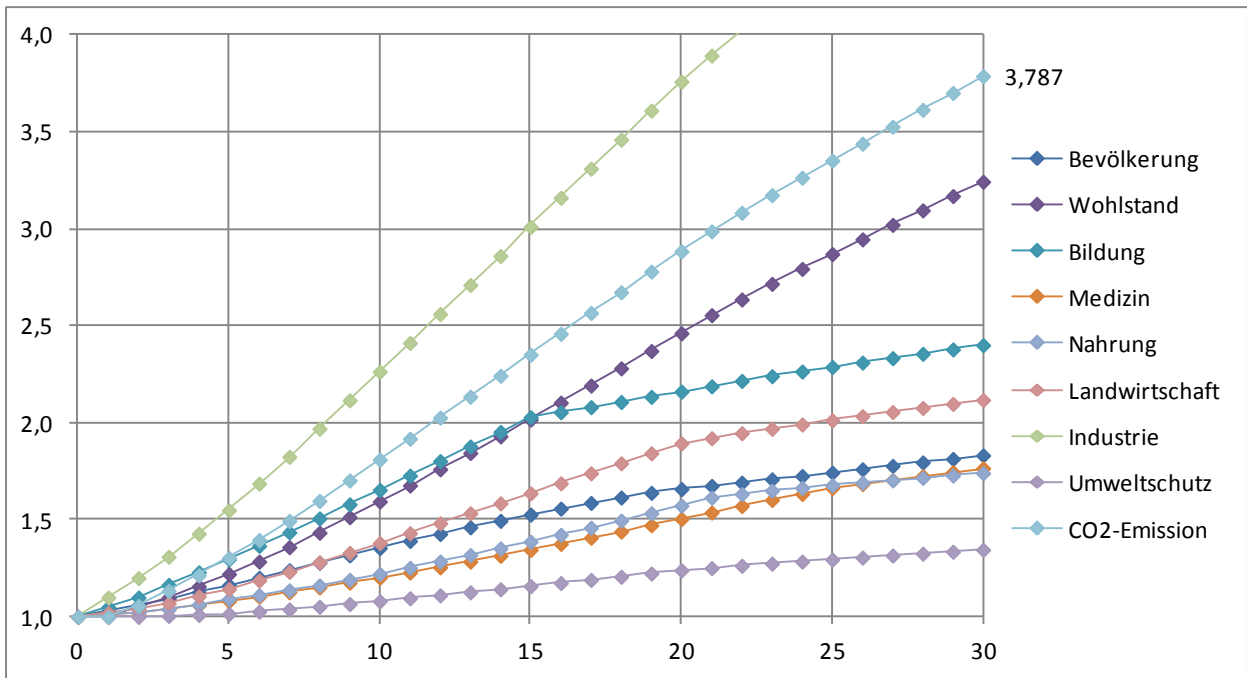


Abb. 7b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 5

Die Industrie, die hier für alle wertschöpfenden Bereiche außerhalb der Landwirtschaft steht, nimmt bis zum Ende der Simulation um 405% zu. Dadurch steigt der Wohlstand um 224%, aber auch die CO₂-Emission, die hier beispielhaft für alle Umweltschäden steht, um 279%.

Ein Vergleich mit den Daten von **Malaysia**⁵ für den Zeitraum 1990 bis 2020 zeigt eine Reihe von Parallelen zu dieser Simulation:

Malaysia: Das **Bevölkerungswachstum** betrug von 1990 bis 2020 (30 Jahre) 89,5%, wobei der Bevölkerungszuwachs 1990 2,86% betrug und danach jährlich abnahm, auf 1,16% im Jahr 2020.

Szenario 5: Das Bevölkerungswachstum beträgt über die gesamte Simulation (30 Jahre) 83,2%, wobei der Bevölkerungszuwachs im ersten Jahr mit 3% angesetzt wurde und im Verlauf der Simulation auf 1% zurückgeht, was an den vorgegebenen Grenzwerten für Geburten- und Sterberate liegt.

Malaysia: Das **Bruttoinlandsprodukt** stieg um 615%.⁶

Szenario 5: Die Industrie wächst um 405%, die Landwirtschaft um 112%.

Malaysia: Das **Durchschnittseinkommen** stieg um 298%.⁶

Szenario 5: Der Wohlstand wächst um 224%.

Malaysia: Die **CO₂-Emissionen** stiegen um 333%.

Szenario 5: Die CO₂-Emissionen nehmen um 279% zu.

Bewertung:

Der Vergleich mit Malaysia zeigt, dass das stark vereinfachte „Weltmodell“ durchaus geeignet ist, die grundsätzlichen Zusammenhänge nachzubilden und anschaulich zu machen, ohne dass das Verständnis durch eine zu große Komplexität leidet.

Das Szenario 5 zeigt eine grundsätzlich positive Entwicklung, die allerdings stark zu Lasten der Umwelt geht. Deshalb befasst sich das nächste Szenario mit dem Umweltschutz.

Szenario 6: Umweltschutz

Ziel dieses Szenarios ist, zu untersuchen inwieweit es möglich ist, die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Szenario 6 ist identisch mit Szenario 5, hinzu kommt nur externe Hilfe beim Umweltschutz in gleicher prozentualer Höhe, wie sie die Industrie erhält, und ebenfalls über den gesamten Zeitraum der Simulation.

⁵ Quellen: Statista (<https://de.statista.com/statistik/suche/?q=Malaysia>), CO₂-Emissionen (1990-2019): Wikipedia (https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_größten_Kohlenstoffdioxidemittenten)

⁶ Nicht inflationsbereinigt

Ergebnisse:

Diese Änderung hat nur geringen Einfluss auf die Bevölkerungsentwicklung. Die Bevölkerung wächst um 86,1% (Szenario 5: +83,2%), weil der Umweltschutz Einfluss auf die Sterberate hat. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Systemvariablen.

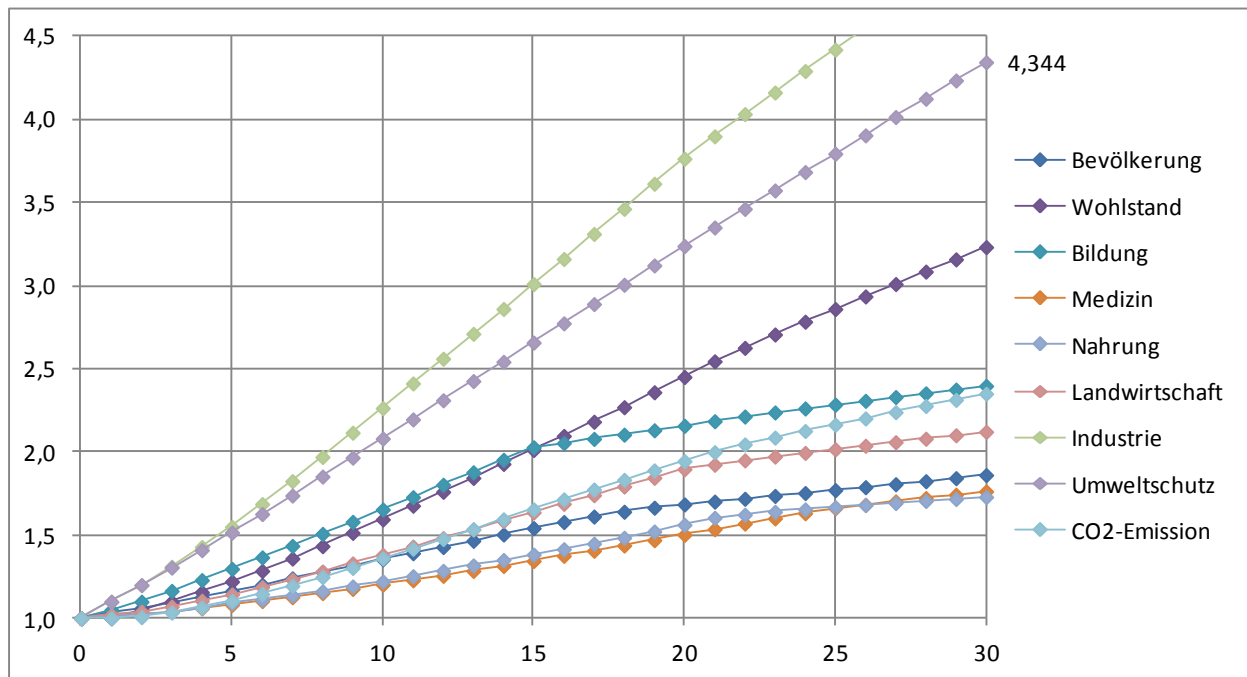


Abb. 8: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 6

Am auffälligsten ist der starke Anstieg des Umweltschutzes um 334% (Szenario 5: +35%), was der externen Hilfe ($30 \times 10\%$) entspricht. In der Folge halbiert sich der Anstieg der CO₂-Emissionen in etwa, von +279% in Szenario 5 auf +135%.

Die anderen Systemvariablen bleiben weitgehend unverändert, weil der Umweltschutz in diesem Szenario keinen direkten Einfluss auf sie hat, nur indirekt über die Bevölkerungsentwicklung. So wächst z.B. der Wohlstand um 223% (Szenario 5: +224%).

Szenario 6A:

In Abwandlung von Szenario 6 gehen wir hier davon aus, dass auch Tätigkeiten im Umweltschutz den Wohlstand der Bevölkerung erhöhen. Außerdem nehmen wir an, dass die Investitionen in den Umweltschutz zum Teil zu Lasten der Investitionen in die Industrie gehen. Zusätzlich reduzieren wir das Limit für die Geburtenrate auf 1%.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Wechselwirkungs- und Verzögerungsmatrix für das so modifizierte Szenario.

Tabelle 7a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 6A

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-4								
Sterberate				-4	-1			-1			
Wohlstand	-0,5			0,1		0,2	0,6	0,1			
Bildung		0,3								0,05	
Medizin		0,2	0,2							0,01	
Nahrung	-0,5					1				0,01	
Landwirtschaft	0,2	0,2	0,1							0,02	
Industrie	0,3	0,2	0,3							0,05	
Umweltschutz		0,1	0,1							0,1	
CO ₂ -Emission	0,5	0,4				0,1	0,4	-0,5			

Tabelle 7b: Verzögerungsmatrix für Szenario 6A

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								
Sterberate				1	1			10			
Wohlstand	1			1		1	1	1			
Bildung		1								15	
Medizin		1	10							10	
Nahrung	1					1				5	
Landwirtschaft	3	1	5							20	
Industrie	3	1	5							30	
Umweltschutz		1	5							30	
CO ₂ -Emission	1	1				1	1	1			

Komplexität des Modells:

Wie man aus diesen Tabellen ersehen kann, hat das Modell in seiner vollen Ausbaustufe eine erhebliche Komplexität erreicht. Wir haben

- 11 Systemvariable,
- 2 Anfangswerte, deren Wert vom Standardwert 1 abweicht (Geburten- und Sterberate),
- 33 Wechselwirkungsparameter,
- 8 Verzögerungsparameter, deren Wert vom Standardwert 1 abweicht, und
- 6 Laufzeitparameter (Spalte EH in der Verzögerungsmatrix).

Das ergibt zusätzlich zu den 11 Systemvariablen insgesamt 49 Parameter, deren Werte vorgegeben werden müssen. In weiteren Szenarien können noch 2 Parameter für die Geburtenkontrolle (GK) hinzukommen. Das sind dann insgesamt 51 Parameter, die sinnvoll für das jeweilige Szenario aufeinander abgestimmt werden müssen.

Ergebnisse:

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Simulation.

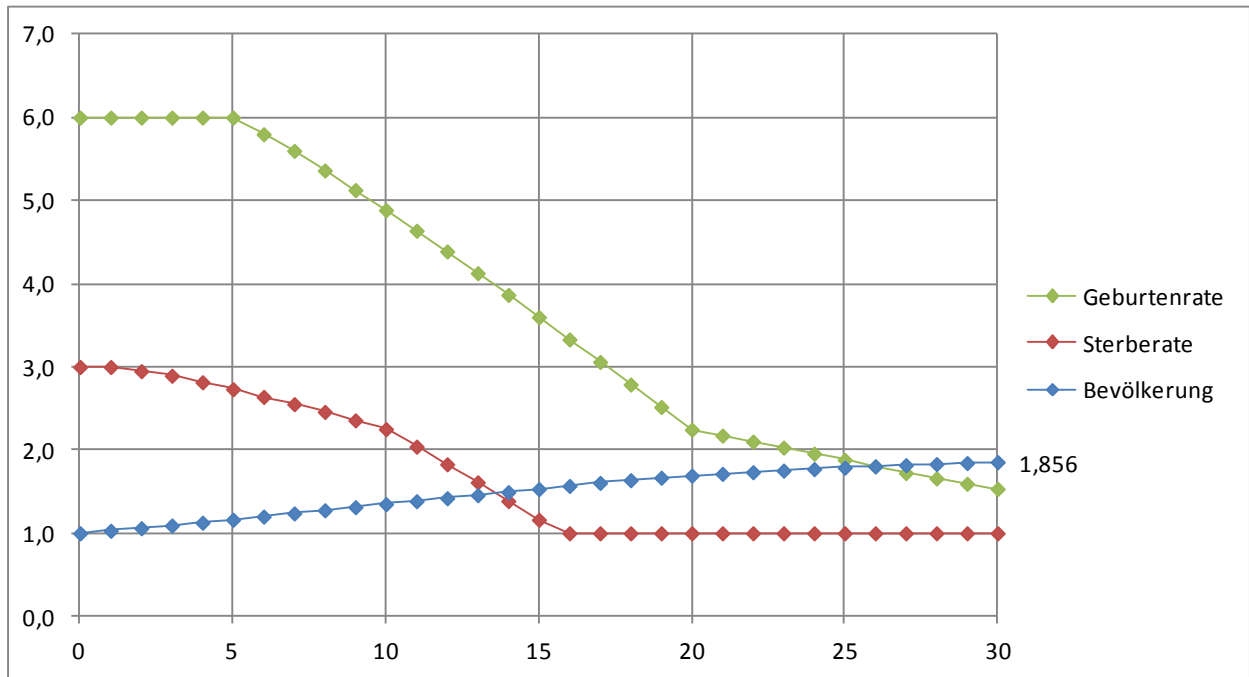


Abb. 9a: Bevölkerungsentwicklung in Szenario 6A

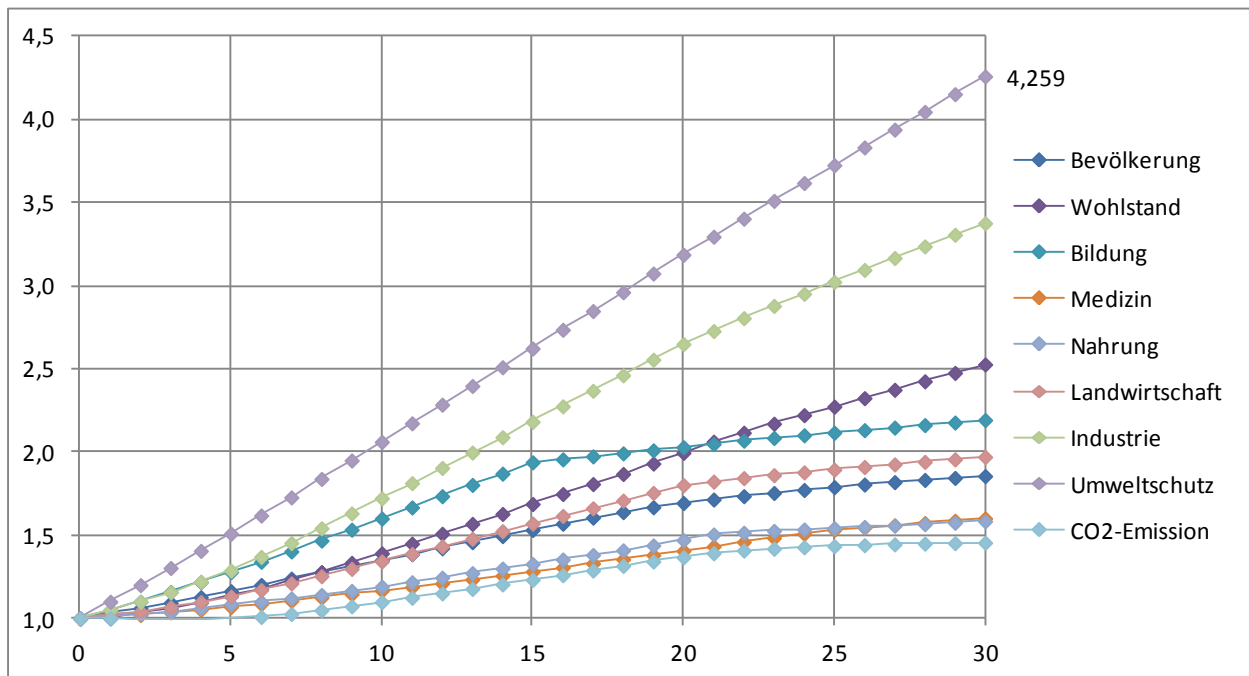


Abb. 9b: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 6A

Während der Umweltschutz praktisch auf dem gleichen Niveau bleibt wie in Szenario 6, wächst die Industrie nur um 238% (Szenario 6: +406%). Dadurch reduziert sich der Anstieg der CO₂-

Emissionen auf +46% (Szenario 6: +135%). Dabei wächst der Wohlstand pro Kopf mit +153% deutlich geringer als in Szenario 6 mit +223%.

Bewertung:

Szenario 6A zeigt, dass theoretisch eine moderate Industrialisierung mit einem deutlichen Anstieg des Wohlstands pro Kopf möglich ist, ohne die CO₂-Emissionen übermäßig in die Höhe zu treiben. Dazu müsste aber von Anfang an massiv in den Umweltschutz, insbesondere den Klimaschutz, investiert werden. Wichtig ist auch, dass das Bevölkerungswachstum stark zurückgeht. Sollte das nicht durch Investitionen in die Bildung gelingen, müssten Maßnahmen zur Geburtenkontrolle ergriffen werden.

In der Realität sieht es aber ganz anders aus, wie das Beispiel Malaysia (Seite 19) zeigt. Die Frage ist, was noch möglich ist, wenn eine Entwicklung wie in Szenario 5 bereits erfolgt ist.

Szenario 7: Ist die Entwicklung umkehrbar?

Für dieses Szenario werden die Werte der Systemparameter aus Szenario 5 am Ende der Simulation (J = 30) als Anfangswerte (J = 0) verwendet.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Wechselwirkungs- und Verzögerungsmatrix. Diese sind weitgehend identisch mit Szenario 5. Die Abweichungen von Szenario 5 sind hier gelb markiert.

Tabelle 8a: Wechselwirkungsmatrix für Szenario 7

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			-4								-0,1
Sterberate				-4	-1			-1			
Wohlstand	-0,5			0,1		0,2	0,6	0,1		-0,05	
Bildung		0,3									
Medizin		0,2	0,2								
Nahrung	-0,5					1					
Landwirtschaft	0,2	0,2	0,1								
Industrie	0,3	0,2	0,3								
Umweltschutz		0,1	0,1							0,15	
CO ₂ -Emission	0,5	0,4				0,1	0,4	-0,5			

Tabelle 8b: Verzögerungsmatrix für Szenario 7

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Geburtenrate			5								30
Sterberate				1	1			10			
Wohlstand	1			1		1	1	1		30	
Bildung		1									
Medizin		1	10								
Nahrung	1					1					

	B	W	Bi	M	N	L	I	U	C	EH	GK
Landwirtschaft	3	1	5								
Industrie	3	1	5								
Umweltschutz		1	5							30	
CO ₂ -Emission	1	1				1	1	1			

Erläuterungen:

In diesem Szenario wird über die gesamte Simulationszeit eine umfangreiche externe Hilfe beim Umweltschutz angenommen. Diese besteht zu einem Teil aus Krediten, die zurückgezahlt werden müssen, was mit einem negativen Wert in der Zeile Wohlstand simuliert wird. Bezogen auf den Wert am Ende von Szenario 5 geht der Wohlstand hierdurch pro Jahr um ca. 1,5% zurück.

Andererseits wird, wie in Szenario 6A, berücksichtigt, dass Tätigkeiten im Umweltschutz den Wohlstand der Bevölkerung erhöhen. Darüber hinaus wird, ebenfalls über die gesamte Simulationszeit, eine Geburtenkontrolle angesetzt. Die anderen externen Hilfen aus Szenario 5 entfallen dafür hier.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse dieser Simulation sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

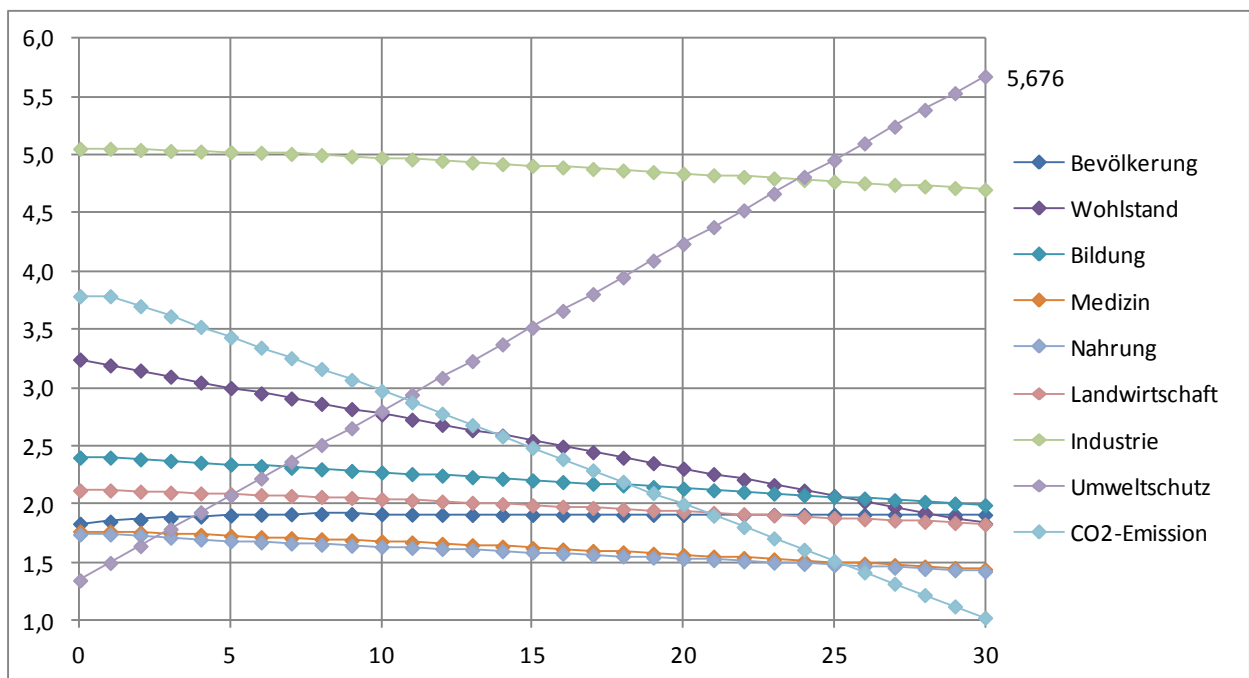


Abb. 10: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 7

In diesem Szenario ist es tatsächlich gelungen, die CO₂-Emissionen nach 30 Jahren auf das vorindustrielle Niveau zurückzuführen. Dazu musste der Umweltschutz aber um 322% gegenüber dem Ende von Szenario 5 gesteigert werden. Aufgrund der „Eigenbeteiligung“ an diesen Anstrengungen ist dabei der Wohlstand um 43,5% gegenüber dem Ende von Szenario 5 gesunken,

mit allerdings mehr oder weniger moderaten Konsequenzen für die anderen Systemvariablen, z.B. Rückgang der Nahrung pro Kopf um 18,3%.

Dieses Ergebnis wäre allerdings ohne die angenommene Geburtenkontrolle, die die Bevölkerungszahl innerhalb von ca. 10 Jahren nur 4,2% über dem Ausgangswert stabilisiert, nicht möglich gewesen.

Bewertung:

Szenario 7 in Verbindung mit Szenario 5 zeigt, dass es nach einer Phase der Industrialisierung ohne ausreichenden Umweltschutz zwar möglich ist, die Emissionen auf das vorindustrielle Niveau zurückzuführen, dass dazu aber in großem Umfang externe, nicht zurückzahlende Hilfen erforderlich sind und darüber hinaus sichergestellt werden muss, dass das Bevölkerungswachstum schnell eingedämmt wird, nötigenfalls durch eine strikte Geburtenkontrolle, vergleichbar mit der chinesischen Ein-Kind-Politik. Trotzdem lässt sich dabei ein erheblicher Wohlstandsverlust nicht vermeiden.

In der Realität erscheint eine Umsetzung dieser Strategie deshalb wegen des zu erwartenden Widerstandes der Bevölkerung schwer umsetzbar, am ehesten noch in totalitären Staaten.

Szenario 7A:

Um die Bedeutung der Geburtenkontrolle für Szenario 7 zu quantifizieren, zeigt Abb. 11 die Ergebnisse eines modifizierten Szenarios, in dem die Geburtenkontrolle fehlt. Ansonsten ist Szenario 7A identisch mit Szenario 7.

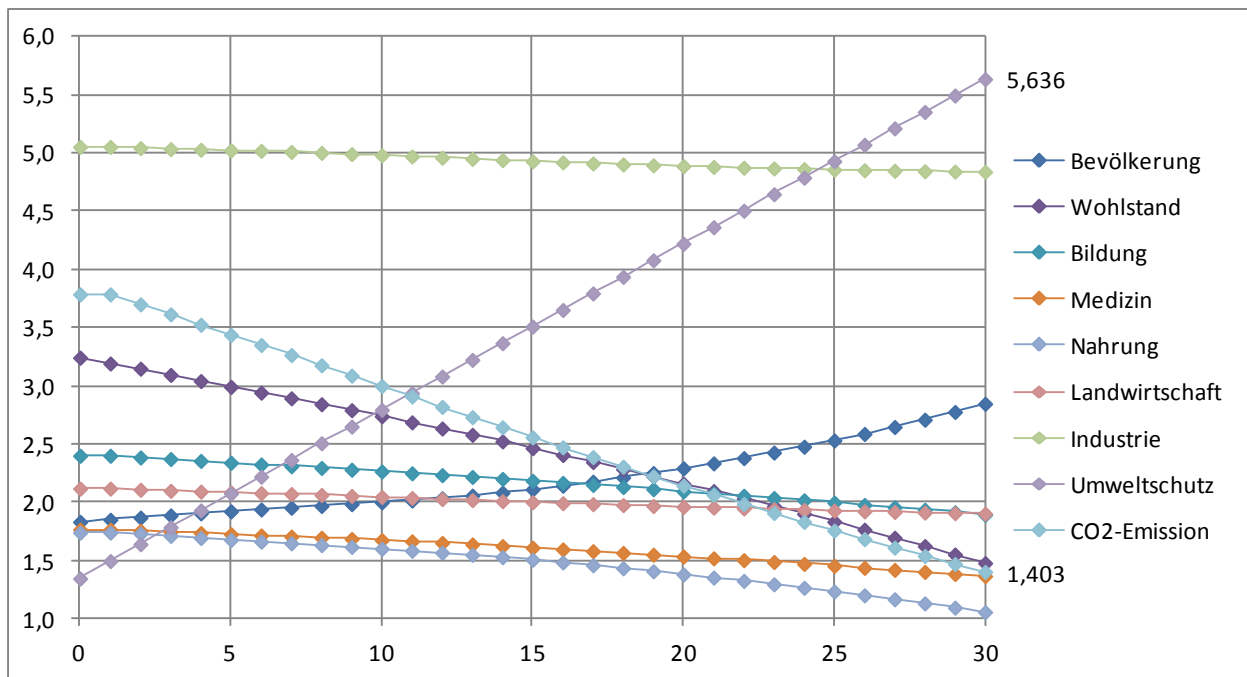


Abb. 11: Entwicklung der Systemvariablen in Szenario 7A

Der Vergleich mit Szenario 7 zeigt folgende Unterschiede der Systemvariablen am Ende der Simulationen:

Tabelle 9 ⁷	Szenario 5	Szenario 7	Szenario 7A	Szenario 7B
Bevölkerung	1,832	1,909	2,847	2,400
Wohlstand	3,243	1,843	1,479	1,647
Bildung	2,401	1,992	1,894	1,939
Medizin	1,766	1,440	1,367	1,399
Nahrung	1,741	1,422	1,058	1,231
Landwirtschaft	2,118	1,828	1,903	1,872
Industrie	5,054	4,703	4,840	4,782
Umweltschutz	1,346	5,676	5,636	5,654
CO ₂ -Emission	3,787	1,025	1,403	1,232

Obwohl der Umweltschutz auf dem gleichen Niveau ist wie in Szenario 7, bleiben die CO₂-Emissionen 40,3% über dem vorindustriellen Niveau. Das liegt am starken Bevölkerungswachstum, aufgrund der fehlenden Geburtenkontrolle. Dadurch nehmen auch die Emissionen zu, die direkt oder indirekt von der Bevölkerungsentwicklung abhängen, so dass das vorindustrielle Niveau nicht erreicht wird.

Bewertung:

Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass die Geburtenkontrolle nicht nur zu einer stärkeren Reduzierung der Emissionen führt, sondern auch die stark negativen Effekte auf Wohlstand und Nahrungsversorgung abmildert.

Was dieses Modell nicht berücksichtigt, ist der Lerneffekt, den die Bevölkerung in der Phase der Industrialisierung (Szenario 5) durchmacht, dass nämlich Investitionen in die Bildung den Wohlstand erhöhen und dass es deshalb besser ist, in die Bildung weniger Kinder zu investieren, als viele Kinder zu bekommen, die schlecht ausgebildet auch nur schlecht bezahlte Arbeit bekommen. Diesen Lerneffekt simulieren wir im nächsten Szenario.

Szenario 7B:

In diesem Szenario hat die Bildung keinen Einfluss mehr auf die Geburtenrate. Diese bleibt auf dem Niveau am Ende von Szenario 5. Ansonsten ist Szenario 7B identisch mit Szenario 7A. Die Ergebnisse können der obigen Tabelle 9 entnommen werden.

Die Bevölkerung wächst zwar weiter, aber nicht so schnell wie in Szenario 7A. Dadurch mildern sich alle negativen Effekte aus Szenario 7A ab, aber das Niveau von Szenario 7 wird nicht erreicht, auch nicht bei den CO₂-Emissionen. Der Rückgang um 67,5% (Szenario 7B ggü. Szenario 5) ist allerdings durchaus beachtlich. Gleichzeitig nimmt die Nahrungsversorgung aber um fast 30% ab.

⁷ Die hier angegebenen Werte hängen von den Parametern der Simulation ab, die in gewissen Grenzen willkürlich sind, so dass die Genauigkeit auf drei Nachkommastellen zu relativieren ist.

Bewertung:

In den betrachteten Szenarien können nur mittels Geburtenkontrolle die CO₂-Emissionen auf ein vorindustrielles Niveau zurückgeführt werden. Gleichzeitig mildert die Geburtenkontrolle die negativen Folgen der hohen Ausgaben für den Umweltschutz. Obwohl diese Ausgaben zu einem großen Teil fremdfinanziert sind, kommt es in jedem Fall zu großen Einschränkungen für die Bevölkerung.

Wo eine Geburtenkontrolle nicht durchsetzbar ist, sind diese Einschränkungen so groß, dass mit massiven Widerständen der Bevölkerung zu rechnen ist.

Fazit

Mit dem hier vorgestellten „Weltmodell“ lassen sich Simulationen durchführen, die trotz der starken Vereinfachungen durchaus aufschlussreiche Ergebnisse liefern, allerdings nur qualitativer Natur, unter anderem:

- Den großen Einfluss der Geburtenrate bzw. der Bevölkerungsentwicklung auf die anderen Systemvariablen, insbesondere auch auf den Wohlstand, der mit zunehmender Bevölkerung abnimmt,
- die großen Möglichkeiten, die deshalb eine effektive Geburtenkontrolle bietet,
- die große Bedeutung der Bildung, insbesondere durch ihren Einfluss auf die Geburtenrate, aber auch als Voraussetzung für eine Industrialisierung,
- die große Bedeutung der Industrialisierung für den Wohlstand der breiten Bevölkerung, allerdings verbunden mit einer starken Zunahme der Umweltverschmutzung, insbesondere der CO₂-Emissionen,
- die notwendigen Voraussetzungen, um die CO₂-Emissionen auf ein vorindustrielles Niveau zurückzubringen:
 - Externe Finanzhilfen, die zu einem großen Teil nicht zurückgezahlt werden,⁸
 - schnelle Eindämmung des Bevölkerungswachstums, falls notwendig mittels Geburtenkontrolle,
 - Verzicht auf einen erheblichen Teil des Wohlstandes.
 - *Es ist zu bezweifeln, dass diese Voraussetzungen in der Realität in ausreichendem Umfang erfüllt werden können.*

Die Simulationen veranschaulichen die Einflüsse der einzelnen Parameter und deren Zusammenhänge so gut, dass diese Erkenntnisse, die zum Teil auch nicht neu sind, Beachtung finden sollten.

Insbesondere geben diese Simulationen Hinweise darauf, dass die notwendigen Maßnahmen, um die Erderwärmung auf 1,5°C bis 2°C zu begrenzen, wohl nicht durchsetzbar sind.

⁸ *Es ist zu bezweifeln, dass der Wohlstand der Geberstaaten hierfür ausreicht. Diese müssen ja auch für ihre eigene Emissionsreduzierung viel Geld ausgeben. Deshalb müssten sie in großem Umfang Kredite aufnehmen. Ob sie diese jemals zurückzahlen könnten, ist ebenfalls zu bezweifeln.*