

Michael Roos

Ungleichheit in agrarischen Gemeinschaften – Ein agentenbasiertes Computersimulationsmodell

ABSTRACT: *This paper presents a simple agent-based computer simulation model, which provides a theoretical explanation for the emergence of inequality in a stylized agrarian community. The model hence does not aim at explaining the evolution of a specific community at specific place and time. It rather offers a general theory of how inequality could arise under certain conditions. The agents in the model (households) practice agriculture. The crop yield is subject to random fluctuations which are idiosyncratic to the households. Households that are threatened by hunger due to bad harvests can obtain a corn loan from relatives. The model shows that crop failures and ensuing corn loans do not lead to permanent inequality – measured in terms of corn stocks and corn consumption – if the loans are repaid in corn. However, if the corn transfer is reciprocated by a transfer of farm land, some households will accumulate land which leads to permanent inequality in the stock and consumption of corn.*

KEYWORDS: AGENT-BASED MODEL, SIMULATION, THEORETICAL MODEL, INEQUALITY

ZUSAMMENFASSUNG: *Der vorliegende Beitrag stellt ein einfaches agentenbasiertes Computersimulationsmodell vor, das eine theoretische Erklärung für Entstehung von Ungleichheit in einer stilisierten agrarischen Gemeinschaft vorschlägt. Das Modell zielt also nicht darauf ab, die Entwicklung einer bestimmten Gemeinschaft an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit zu erklären, sondern es liefert eine allgemeine Theorie, wie Ungleichheit unter bestimmten Bedingungen entstehen kann. Die Agenten des Modells (Haushalte) betreiben Ackerbau. Die Ernte ist zufälligen Schwankungen unterworfen, die haushaltsspezifisch sind. Haushalte, die auf Grund einer schlechten Ernte von Hunger bedroht sind, können von Verwandten einen Getreidekredit erhalten. Das Modell zeigt, dass Missernten in Verbindung mit Kreditaufnahme nicht zu dauerhafter Ungleichheit – gemessen im Getreidebestand und Getreideverbrauch – führt, wenn die Kredite in Form von Getreide zurückgezahlt werden. Wenn als Gegenleistung für einen Getreidetransfer aber ein Transfer von Ackerland stattfindet, kommt es zu einer Konzentration von Ackerland bei einigen Haushalten und damit einhergehend zu permanenter Ungleichheit im Getreidebestand und –konsum.*

SCHLÜSSELBEGRIFFE: AGENTENBASIERTES MODELL, SIMULATION, THEORETISCHES MODELL, UNGLEICHHEIT

Einführung

Materielle Ungleichheit ist ein Phänomen, das in der gesamten Wirtschaftsgeschichte zu finden ist und daher als Grundkonstante ökonomischer Systeme betrachtet werden kann. Grad und Ausprägung der Ungleichheit unterscheiden sich über Epochen und Systeme, aber die Frage, wie ökonomische Güter verteilt werden und verteilt werden sollten, ist sicher eine der Grundfragen der Ökonomik, die zu allen Zeiten wichtig war. Vor dem Hintergrund aktueller Wirtschaftskrisen haben Verteilungsfragen in der Volkswirtschaftslehre neues Interesse geweckt, und seit Jahren schon identifiziert das World Economic Forum die zunehmende

Einkommensungleichheit in Volkswirtschaften als eines der zehn größten globalen Risiken (vgl. WEF 2014).

Moderne Volkswirtschaften sind komplexe Systeme, in denen sich Einkommens- und Vermögensungleichheit als emergentes Phänomen aus der Interaktion von Einzelentscheidungen von Millionen von Akteuren ergeben. Diese Zusammenhänge zu verstehen und aus den Erkenntnissen Empfehlungen für wirtschaftspolitische Maßnahmen abzuleiten, ist eine Aufgabe, die den einzelnen Ökonomen, aber auch die Volkswirtschaftslehre als Ganzes vor große Herausforderungen stellt. In der Volkswirtschaftslehre beginnt gerade ein Umdenken, bei dem diese Komplexität anerkannt und nach neuen Forschungsmethoden ge-

sucht wird, die ihr angemessen sind (vgl. Colander, et al., 2004).

Wenn man verstehen will, welche ökonomischen Mechanismen zur Ausbildung ökonomischer Ungleichheit beitragen, ist verlockend, ökonomische Systeme zu untersuchen, die nicht denselben Grad an Ausdifferenzierung und Komplexität haben, wie moderne Volkswirtschaften in frühindustrialisierten Ländern. Die Hoffnung dabei ist, dass sich Erkenntnisse aus verhältnismäßig einfach strukturierten Ökonomien auch auf komplexere Systeme übertragen lassen. Für den Ökonomen ist es daher interessant zu erfahren, dass es in der Archäologie Hinweise auf Ungleichheit in Jäger-Sammler-Gemeinschaften des Jungpaläolithikums gibt (vgl. Hayden, 2001). Allerdings haben Jäger-Sammler-Gemeinschaften nur wenig mit modernen Ökonomien gemeinsam, so dass es plausibler erscheint, die Ungleichheit von Ackerbau und Viehzucht betreibenden Gemeinschaften nach der Sesshaftwerdung im Neolithikum zu betrachten.

Aus archäologischer Sicht ist mit Ungleichheit oft nicht nur die rein materielle Ungleichheit von Interesse, sondern auch die soziale Ungleichheit im Hinblick auf den sozialen Rang oder die Funktion von Individuen und die soziale Stratifikation einer Gesellschaft. Diese Art von Ungleichheit hängt sicher mit der materiellen Ungleichheit zusammen, geht aber über sie hinaus. In diesem Beitrag möchte ich eine rein ökonomische Perspektive einnehmen und die Untersuchung auf die Entstehung materieller Ungleichheit beschränken. Materielle Ungleichheit kann sich dabei auf verschiedene Größen beziehen, z. B. die Ausstattung mit Werkzeugen, Waffen oder Prestigeobjekten, Land- oder Viehbesitz oder auch Nahrungsmitteln.

Dennoch kann eine solche ökonomische Betrachtung auch für die Archäologie von Bedeutung sein. Zum einen gibt es ohne Zweifel Wechselwirkungen zwischen sozialer und materieller Ungleichheit, so dass eine Untersuchung der materiellen Ungleichheit eine Grundlage für das Verständnis verschiedener Formen sozialer Ungleichheit liefern kann. Zum anderen kann die Volkswirtschaftslehre als sehr formale Wissenschaft anderen Sozialwissenschaften ein Angebot machen, wie Theorien und Erklärungsmodelle formalisiert werden können. Damit soll kein ökonomischer Imperialismus betrieben und nicht gesagt werden, dass formale Modellbildung¹ eine überlegende Art der Theorieentwicklung ist. Jedoch haben formale Modelle mindestens zwei große Stärken, die andere Arten der Theorieentwicklung nicht bieten können: Formale Modelle zeichnen sich durch hohe Präzision in der Darstellung aus, und sie sind quantifizierbar und damit einer statistischen Überprüfung zugänglich. Die Formalisierung zwingt den Theorieentwickler, seine Annahmen sehr genau und explizit darzulegen und ermöglicht es, die Vollständigkeit und logische Richtigkeit der Schlussfolgerungen zu überprüfen. Nicht-formale Theorien enthalten häufig versteckte Annahmen oder Schlüsse, die logisch nicht zwingend sind.

Eine Art der formalen Modellbildung ist die Computersimulation, die Gilbert und Troitzsch (2005) für eine

exzellente Art der Theorieentwicklung in den Sozialwissenschaften halten. Insbesondere die agentenbasierte Computersimulation ist eine sehr leistungsfähige Forschungsmethode, mit deren Hilfe künstliche Gesellschaften erschaffen werden können, um sozialwissenschaftliche Theorien zu entwickeln und zu überprüfen (vgl. Epstein und Axtell 1996; Epstein 2007; Gilbert und Troitzsch 2005; Tesfatsion 2003). Agentenbasierte Modelle wurden bereits auf verschiedene Fragestellungen in der Archäologie angewandt (z. B. Dean, et al., 2000; Janssen 2009; Kowarik, et al., 2010; Kowarik 2012) und gewinnen zunehmend an Bedeutung (vgl. SIMULPAST Projekt, www.simulpast.net).

In diesem Beitrag wird ein einfaches agentenbasiertes Modell vorgestellt, das zeigt, wie materielle Ungleichheit in einer stilisierten Agrargemeinschaft entstehen könnte. Es ist wichtig zu betonen, dass der Zweck des Modells nicht darin besteht, ein konkretes empirisches Phänomen abzubilden und zu erklären. Das Modell soll ein theoretischer Beitrag sein, mit dem ein Mechanismus beschrieben wird, der zu verschiedenen Zeiten und Orten in Gemeinschaften wirksam sein könnte, die Eigenschaften wie die hier angenommenen haben. Natürlich kann dieses Modell auf konkrete Beispiele angewandt und empirisch anhand von Daten überprüft werden. Die dazu erforderlichen Daten könnten aus archäologischen Befunden stammen, wenn das Modell auf ein prähistorisches Beispiel angewandt werden soll. Dies soll aber nicht im vorliegenden Beitrag geleistet werden, sondern bleibt weiterer Forschung überlassen.

Materielle Ungleichheit zwischen Mitgliedern einer Gemeinschaft lässt sich leicht durch individuelle Unterschiede oder eingeschränkten Zugang zu bestimmten Ressourcen oder Handlungsmöglichkeiten erklären. Individuen mit besonderen Fähigkeiten oder exklusiven Verfügungsmöglichkeiten über wertvolle Ressourcen können daraus ökonomische Vorteile gegenüber anderen Gemeinschaftsmitgliedern ziehen, die über geringere Befähigungen verfügen. Materielle Ungleichheit zwischen Individuen wird demnach durch individuelle Unterschiede in Befähigungen erklärt. Solche Faktoren sind zweifellos wichtig, jedoch besteht die Gefahr, dass sie die Wahrnehmung anderer Faktoren überlagern, die weniger offensichtlich sind. Daher soll im vorliegenden Modell von individueller Heterogenität abstrahiert werden, um zu zeigen, wie Ungleichheit auch bei anfangs völlig identischen Individuen entstehen kann.

Die zentrale Idee des Modells ist recht simpel. Eine Gemeinschaft aus zunächst völlig identischen Haushalten betreibt Ackerbau. Die Ungleichheit bezieht sich in erster Linie auf den jeweiligen Getreidevorrat der Haushalte. Die Ernteerträge seien individuellen Zufallseinflüssen unterworfen, z. B. durch lokale Unwetter, Schädlingsbefall oder Tierfraß. Dadurch kommen einzelne Haushalte in eine Notsituation, in der die Nahrungsmittelversorgung nicht ausreichend ist, um Hunger zu vermeiden. Der entscheidende Faktor, der in diesem Modell Ungleichheit entstehen lassen kann, soll nun die Art sein,

wie Haushalte sich bei Missernten gegen Hunger versichern können. Dazu sind verschiedene Möglichkeiten denkbar². Eine Möglichkeit ist, dass notleidende Haushalte bei Verwandten einen Kredit bekommen können³. Eine andere besteht darin, dass vom Hunger bedrohte Haushalte einen Teil ihres Ackerlandes im Tausch gegen Getreide an einen anderen Haushalt abtreten. Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Institutionen⁴ ist, dass eine Landübertragung einen permanenten Effekt haben dürfte, ein reiner Getreidekredit vermutlich aber nicht. Durch die Übertragung von Ackerland verliert der abgebende Haushalt Kapital, d. h. die Möglichkeit, in Zukunft neues Getreide produzieren zu können, während der aufnehmende Haushalt Kapital gewinnt. Dadurch dürfte eine dauerhafte Ungleichheit in der Getreideversorgung entstehen. Getreidekredite hingegen haben vermutlich nur temporäre Effekte auf die Ungleichheit. Ob dies tatsächlich so ist, soll anhand der Modellsimulation untersucht werden.

Der Aufsatz ist wie folgt aufgebaut. Im Abschnitt 2 werden die Modellannahmen detailliert beschrieben. Abschnitt 3 enthält die numerische Parametrisierung, die für die Simulation verwendet wurde. Der vierte Abschnitt präsentiert die Ergebnisse zu den zuvor erwähnten Hypothesen. Zum einen wird untersucht, wie viel Ungleichheit unter den jeweiligen Institutionen entsteht. Zum anderen wird die Frage beantwortet, ob die entstehende Ungleichheit temporär oder dauerhaft ist. Der Abschnitt 5 schließt mit einem Fazit und gibt einen Ausblick auf mögliche Anwendungen und Erweiterungen des Modells.

Modellbeschreibung

Die Beschreibung des Modells orientiert sich am sogenannten ODD-Schema⁵ von Grimm et al. (2010). Auf eine exakte Anwendung dieses Schemas wird zugunsten einer kompakteren Darstellung und besseren Lesbarkeit verzichtet⁶.

In diesem Abschnitt gebe ich zunächst einen Überblick über den Aufbau des Modells und beschreibe anschließend den Ablauf der Ereignisse bzw. Aktionen der Agenten. Danach diskutiere ich kurz einige Modellierungsideen und Designprinzipien, die verdeutlichen sollen, warum bestimmte Modellannahmen gemacht wurden. Am Ende dieses Abschnitts beschreibe ich die zentralen Modellroutinen, die das Verhalten der Agenten, deren Interaktion und die daraus entstehenden Konsequenzen bestimmen, im Detail.

Überblick

Das Modell beschreibt eine einfache Agrargemeinschaft, die keinen Handel treibt und auch keine Bodenschätze gewinnt. Die Gemeinschaft besteht aus Haushalten, die Getreideanbau für die eigene Versorgung betreiben. Der Ernteertrag hängt von idiosynkratischen Zufallseinflüssen ab. Im Fall einer Missernte können die Haushalte von ihren Verwandten einen Getreidekredit bekommen, der verzinst wird und im Folgejahr zurückgezahlt wird. In einer Variante werden keine Kredite vergeben, sondern es wird Getreide gegen Ackerland getauscht.

Der Zweck des Modells ist zu untersuchen, wieviel Ungleichheit zwischen den Haushalten in Kornbestand und –konsum durch Ernteschwankungen entstehen kann und wie diese Unsicherheit durch Getreidekredite bzw. Getreide-Land-Tausch beeinflusst wird.

Die Agenten in diesem Modell sind a priori identische Haushalte, die durch die Zustandsvariablen Anzahl der Personen, Arbeitskraft, Landbesitz und Getreidebestand beschrieben werden. Die Haushalte sind durch Verwandtschaftsbeziehungen untereinander in einem Netzwerk verbunden. Haushalte interagieren nur mit ihren Verwandten.

Das Modell hat keine räumliche Dimension. Ein Zeitschritt in der Simulation entspricht einem Jahr. Die Simulationen laufen jeweils 500 Zeitschritte (=Jahre).

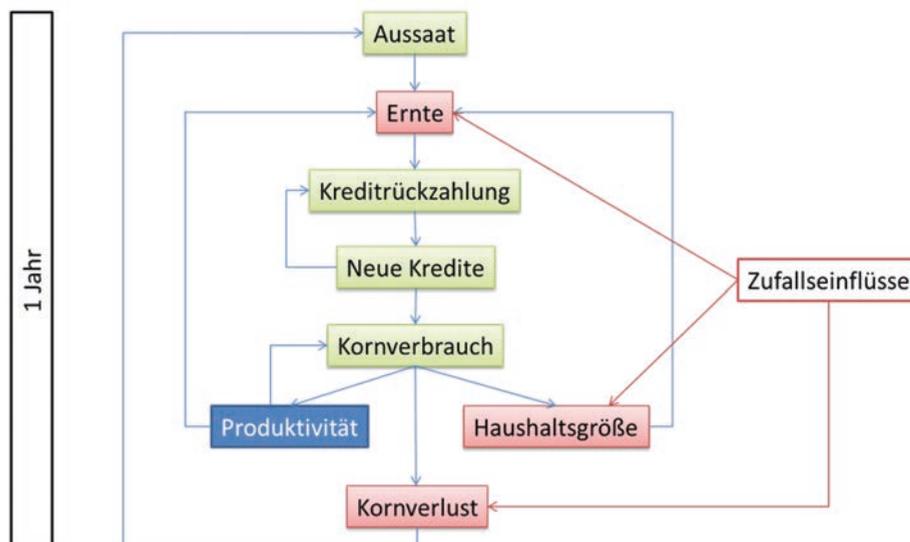


Abb. 1. Ereignisse während einer Simulationsperiode.

Prozesse und Simulationsablauf

In Abbildung 1 ist der Ablauf der Ereignisse schematisch dargestellt. Jeder Zeitschritt, der ein Jahr darstellen soll, hat folgenden Ablauf in der Simulation:

1. Die Haushalte bestimmen die Saatmenge.
2. Der Ernteertrag wird ermittelt. Er hängt ab von den Inputs Ackerland, Saatmenge und Arbeitsmenge und dem individuellen Zufallseinfluss auf die Ernte.
3. Die Haushalte zahlen Kredite zurück.
4. Die Haushalte nehmen, falls nötig, neue Kredite auf.
5. Die Haushalte bestimmen Getreidekonsum und -ersparnis.
6. Die Haushaltsgröße wird bestimmt. Haushaltsmitglieder sterben mit einer Basiswahrscheinlichkeit. Wenn der Haushalt auf Grund zu geringen Konsums hungert, stirbt die Hälfte der Haushaltsmitglieder mit zunehmender Wahrscheinlichkeit. Wenn der Haushalt genug Jahre in Folge nicht gehungert hat, wächst er um eine Person. Ein Haushalt stirbt, wenn er keine Mitglieder mehr hat.
7. Die Haushaltsproduktivität und die Arbeitsmenge werden bestimmt.
8. Die Haushalte verlieren zufällig einen Teil ihres Getreidevorrats, z.B. durch Fäulnis oder Tierfraß.

In der Modellvariante mit Landtransfer entfällt die Kreditrückzahlung, und statt einer Kreditvergabe erfolgt gegebenenfalls ein Tausch von Korn gegen Ackerland.

Designprinzipien

Das Modell ist bewusst sehr stilisiert. Das Verhalten der Agenten und die Institutionen, die das Zusammenleben regeln – hier konkret die Versorgung von Verwandten im Fall drohenden Hungers – erscheinen mir plausibel, sind aber in erster Linie exemplarisch gemeint. Diese Annahmen basieren nicht auf bestimmten Ergebnissen der Forschungsliteratur und erheben daher keinen Anspruch, eine bestimmte Realität abzubilden. Es ist ein theoretisches Modell, das zeigen soll, wie Annahmen über individuelles Verhalten und Institutionen einer Gemeinschaft zu bestimmten Ergebnissen führen. Diese Annahmen könnten auf der Grundlage empirischer Forschungsergebnisse beliebig verändert und realistischer gemacht werden.

Aus den genannten Gründen wurde das Modell nicht kalibriert, d. h. die verwendeten numerischen Werte der Modellparameter haben keine empirische Grundlage. Für eine Anwendung des Modells zur Beschreibung einer konkreten Gemeinschaft wäre eine Kalibrierung natürlich erforderlich.

Dem Modell liegt die Hypothese zugrunde, dass allein durch idiosynkratische Schocks, die unsystematisch alle Haushalte in derselben Weise betreffen, keine persistente Ungleichheit erzeugt wird. Zwar wird es zu jedem

Zeitpunkt allein auf Grund der Zufallseinflüsse Ungleichheit geben. Jedoch gleicht sich diese im Zeitablauf aus. Erst wenn bestimmte Verhaltensweisen oder institutionelle Regelungen die Zufallseinflüsse verstärken, kann es zu dauerhafter Ungleichheit kommen. Ein dauerhafter Landtransfer ist eine solche institutionelle Regelung. Es ist zu erwarten, dass sie zu permanenter Ungleichheit führt, weil sie die Produktionsmöglichkeiten der Haushalte dauerhaft verändert.

Um diese erwarteten Auswirkungen des institutionellen Rahmens deutlich herauszuarbeiten, ist das individuelle Verhalten bewusst einfach modelliert. Die Haushalte sind mit einfachen Verhaltensregeln ausgestattet. Diese können zwar als rational oder vernünftig angesehen werden, resultieren aber nicht direkt aus einem explizit dargestellten Optimierungskalkül, wie es in der ökonomischen Theorie eigentlich üblich ist. Die Agenten ändern ihr Verhaltensmuster nicht im Zeitablauf, es finden also weder Adaptation noch Lernen statt. Schließlich wird auch keine Erwartungsbildung über die Zukunft modelliert.

Agentenbasierte Modelle zeigen emergente Phänomene im Aggregat, die auf eine nicht einfach zu prognostizierende Weise aus dem Verhalten der Individuen entstehen. In diesem Modell ist die Verteilung der Getreidebestände zwischen den Haushalten emergent, ebenso wie deren Entwicklung im Zeitablauf. Die Anzahl der Haushalte und die durchschnittliche Personenzahl pro Haushalt zu bestimmten Zeitpunkten sind ebenfalls emergent.

Details

Produktionstechnologie

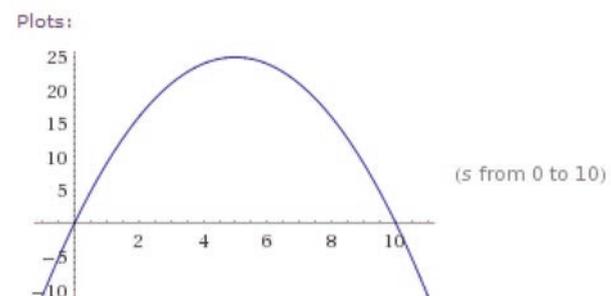


Abb. 2. Ernteertrag in Abhängigkeit der Saatmenge.

Es wird angenommen, dass für einen Haushalt i in einem Jahr t der Ertrag der Getreideernte y_{it} von den Produktionsfaktoren Arbeit l_{it} , Saatmenge s_{it} und dem verfügbaren Ackerland a_{it} abhängt.

Der Zusammenhang zwischen der Ernte und der Saatmenge sei invers-U-förmig, wie in Abbildung 2 dargestellt. Bei einer Saatmenge von 0 kann es keine Ernte geben. Der die Produktionsmenge nimmt dann mit abnehmendem Grenzertrag zu bis sie ein Maximum erreicht,

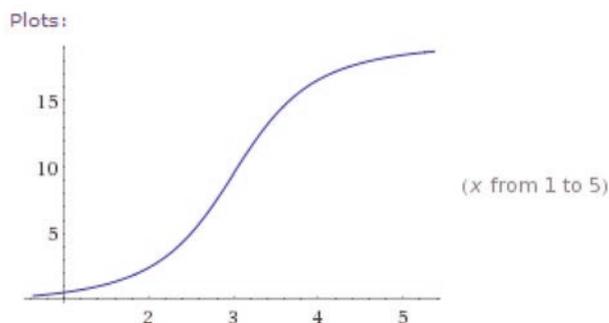


Abb. 3. Ernteertrag in Abhängigkeit des Arbeitseinsatzes.

wodurch eine optimale Saatmenge s^* definiert wird. Wird mehr Saatgut ausgebracht, nimmt der Ertrag wieder ab, weil z. B. die Pflanzen sich gegenseitig im Wachstum behindern und sich Nährstoffe wegnehmen.

Die optimale Saatmenge s^* hängt von der verfügbaren Ackerfläche ab. Es sei angenommen, dass es keine Qualitätsunterschiede beim Ackerland gibt, so dass die optimale Saatmenge und der entsprechende Ertrag je Bodeneinheit überall identisch sind. Die optimale Saatmenge je Bodeneinheit sei durch den Parameter σ beschrieben.

Die Abhängigkeit des Ernteertrags von der eingesetzten Arbeitsmenge folge dem klassischen Ertragsgesetz, wie in Abbildung 3 gezeigt. Ohne Arbeitseinsatz kann keine Produktion erfolgen. Mit jeder zusätzlichen Arbeitseinheit steige der Ertrag zunächst überproportional an. Mit zunehmendem Arbeitseinsatz sinke aber ab einem gewissen Punkt der Grenzertrag.

Eine Produktionsfunktion mit den genannten Eigenschaften ist

$$y_{it} = \left\{ \frac{b \times c}{\sqrt{d + c^2}} + \frac{b(l_{it} - c)}{\sqrt{d + (l_{it} - c)^2}} \right\} \times [s_{it}^{*2} - (s_{it} - s_{it}^*)^2] \times \varepsilon_{it}$$

Die Parameter $b, c, d > 0$ beschreiben den genauen Verlauf der Produktionsfunktion. $\varepsilon_{it} \sim B(q, 2)$ ist ein idiosynkratischer beta-verteilter Produktivitätsschock, der im Intervall $[0, 1]$ liegt. Damit werden alle Faktoren erfasst, die über die Produktionsfaktoren hinaus einen Einfluss auf die Ernte eines Haushaltes in einem Jahr haben, z. B. Wittereinflüsse, Arbeitsausfälle durch Krankheiten von Arbeitern, Pflanzenschädlinge usw. Der Produktionsfaktor Ackerland kommt in der Produktionsfunktion nur indirekt über die optimale Saatmenge vor.

Arbeitseinsatz und Aussaat

Es wird angenommen, dass die Haushalte keine andere Verwendung für Arbeitskraft haben. Diese Annahme ist restriktiv, vereinfacht aber die Analyse. Die verfügbare Arbeitsmenge wird somit vollständig für die Getreideproduktion verwendet.

Die Saatmenge ergibt sich aus der Produktionsfunktion und dem vorhandenen Kornbestand. Es wird angenommen, dass die Haushalte aus Erfahrung wissen, wie groß die optimale Saatmenge je Einheit Ackerland ist. Weiterhin wird rationales Verhalten unterstellt. Daher säen die Haushalte genau die optimale Saatmenge aus, sofern ihr aktueller Getreidebestand zu Beginn des Jahres ausreichend groß ist. Wenn $w_{it} < s_{it}^*$ ist, wird der gesamte vorhandene Getreidebestand w_{it} für die Aussaat verwendet.

Verbrauch und Sparen

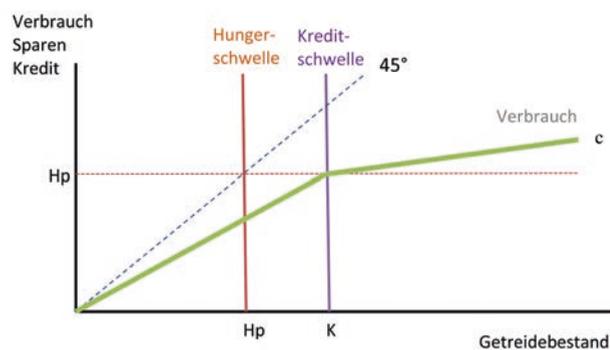


Abb. 4. Verbrauch, Sparen und Kredit.

Die Haushalte können das Getreide in ihrem Bestand nach der Ernte und einer eventuellen Kreditaufnahme bzw. -rückzahlung entweder verbrauchen oder sparen. Das Getreide zu verbrauchen bedeutet hier, es als Nahrung zu verwenden. Was nicht als Nahrung verbraucht wird, gilt automatisch als Ersparnis, die den Getreidebestand des nächsten Jahres bestimmt. Aus diesen erfolgt im nächsten Jahr wieder die Aussaat für die nächste Ernte.

Das angenommene Verhalten der Haushalte mit Bezug auf Verbrauch und Sparen kann anhand von Abbildung 4 erklärt werden. Es sei angenommen, dass es für jeden Haushalt eine Hungerschwelle gibt, d. h. einen Getreidebestand, der für eine ausreichende Ernährung der Haushaltsmitglieder erforderlich ist. Die Hungerschwelle pro Person sei durch den Parameter H gegeben. Wenn der Getreidebestand eines Haushaltes unter $H p_{it}$ fällt, wobei p_{it} die Anzahl der Personen in diesem Haushalt ist, hungert der Haushalt. Hunger beeinträchtigt die Arbeitsproduktivität und die Fortpflanzung und erhöht die Sterbewahrscheinlichkeit.

Die Haushalte können aber nie ihren gesamten Getreidebestand verzehren, da sie sonst kein Saatgut für das nächste Jahr haben. Das bedeutet, dass selbst wenn der Getreidebestand gerade an der Hungerschwelle $w_{it} = H p_{it}$ ist, die Haushaltsmitglieder hungern müssen. In Abbildung 4 ist das dadurch dargestellt, dass die grüne Verbrauchsfunktion unterhalb der 45°-Linie liegt. Die Differenz zwischen 45°-Linie und der Verbrauchsfunktion ist jeweils die Getreideersparnis.

Es sei angenommen, dass jeder Haushalt eine Kreditschwelle K_{it} habe. Unterhalb dieser Kreditschwelle möchte der Haushalt einen Getreidekredit aufnehmen. Die Höhe des gewünschten Kredits ist die Differenz zwischen der Kreditschwelle und dem aktuellen Getreidebestand:

$$c_{it} = K_{it} - w_{it}$$

Die Kreditschwelle ergibt sich aus der Hungerschwelle zuzüglich eines Anteils $\alpha \in [0, 1]$ an der optimalen Saatmenge:

$$K_{it} = H p_{it} + \alpha s_{it}$$

Der Parameter α misst gewissermaßen, wie vorsichtig oder vorausschauend die Haushalte sind. Je größer dieser Parameter ist, desto mehr ziehen sie bei der Kreditaufnahme in Betracht, dass sie nicht nur Hunger vermeiden wollen, sondern auch Vorsorge für die nächste Aussaat betreiben müssen. Wenn der Getreidebestand gerade der Kreditschwelle entspricht, kann der Haushalt also gerade so viel Getreide konsumieren, dass Hunger vermieden wird, und die Menge αs_{it}^* an Getreide sparen. Um das Modell einfach zu halten, wird angenommen, dass der Verbrauch linear vom Getreidebestand abhängt. Die Verbrauchs- oder Konsumfunktion sei:

$$c_{it} = \begin{cases} \beta_{it} w_{it} & \text{falls } w_{it} < K_{it} \\ H p_{it} + \gamma \beta_{it} (w_{it} - K_{it}) & \text{falls } w_{it} \geq K_{it} \end{cases}$$

Dabei ist $\beta_{it} = \frac{H p_{it}}{K_{it}}$ die marginale Konsumneigung eines Haushaltes, wenn der Getreidebestand unterhalb der Kreditschwelle liegt. Wenn der Haushalt genug Getreide hat und keinen Kredit benötigt ($w_{it} \geq K_{it}$) konsumiert er mit zunehmendem Getreidebestand zwar auch mehr Getreide, jedoch ist die marginale Konsumneigung um den Faktor $\gamma \in [0, 1]$ kleiner als im anderen Fall. Damit wird ausgedrückt, dass der zusätzliche Nutzen (Grenznutzen) des Getreidekonsums geringer ist, wenn eine hungervermeidende Grundversorgung sichergestellt ist.

Kredit

Jeder Haushalt hat mindestens ρ Verwandtschaftsbeziehungen zu anderen Haushalten, die zu Beginn der Simulation zufällig ermittelt werden⁷. Nur zwischen verwandten Haushalten findet eine Interaktion statt und diese auch nur, wenn ein Haushalt einen Getreidekredit benötigt.

Wenn der Getreidebestand eines Haushaltes unterhalb der Kreditschwelle liegt, benötigt er die Differenz bis zum Erreichen der Kreditschwelle als Kredit. In diesem Fall wendet er sich an einen zufällig ausgewählten verwandten Haushalt. Dieser gewährt den Kredit, wenn er dadurch nicht selbst unter seine eigene Kreditschwelle fällt. Wäre dies doch der Fall, verweigert er den Kredit. Es

wird also von Teilkrediten abgesehen, um das Modell einfach zu halten. Wenn ein Kredit verweigert wird, wendet sich der bedürftige Haushalt an weitere verwandte Haushalte, bis er entweder den gewünschten Kredit erhält oder alle Verwandten den Kredit verweigert haben.

Die Kredite werden zu einem festen Zinssatz r verzinst und müssen im Folgejahr nach der Ernte inklusive der Verzinsung in Getreide zurückgezahlt werden. Wenn die Tilgung nicht möglich ist, weil der Getreidebestand des Haushaltes nach der Ernte nicht groß genug ist, wird er um ein Jahr gestundet und erneut verzinst.

Wenn ein Haushalt einen Kredit nicht tilgen kann, kann es vorkommen, dass er in diesem Jahr einen weiteren Kredit beim selben oder einem anderen Haushalt aufnehmen muss. Dadurch kann es zu einer Akkumulation von Schulden kommen. Bei der Tilgung wird immer versucht, zunächst alle Kredite zurückzuzahlen. Wenn dies nicht möglich ist, versucht der Haushalt die größte Einzelschuld zu tilgen. Zur Vereinfachung wird keine Teilrückzahlung modelliert. Es gibt auch keine Überschuldungsregel, so dass im Prinzip eine permanente Akkumulation von Schulden möglich ist.

Landtransfer

In der Modellvariante ohne Kreditvergabe wird Getreide gegen Ackerland getauscht. Der Getreidebedarf wird wie in der Kreditvariante durch einen Vergleich zwischen dem Getreidebestand und der Kreditschwelle ermittelt. Wenn ein Haushalt Getreide benötigt, wendet er sich wieder an einen zufällig ausgewählten verwandten Haushalt. Dieser stellt die gewünschte Getreidemenge zur Verfügung, wenn er dadurch nicht seine Kreditschwelle unterschreitet.

Der Unterschied zur Kreditvariante besteht darin, dass der Empfänger als Gegenleistung für den Getreidetransfer einen Teil seines Ackerlandes an den Geberhaushalt überträgt, das dieser dann ab dem nächsten Jahr für die eigene Getreideproduktion nutzen kann. Es wird angenommen, dass immer eine bestimmte Ackerfläche τ transferiert werden muss, unabhängig von der Höhe des Getreidetransfers. Dies ist natürlich eine offensichtliche Restriktion des Modells. Eine möglicherweise realistischere Alternative wäre z. B., dass die Haushalte versuchen, eine Äquivalenz zwischen den Transfers herzustellen. Um zu verhindern, dass Haushalte ihr gesamtes Ackerland verlieren, findet ein Austausch von Getreide gegen Boden nur statt, wenn der notleidende Haushalt noch über eine Ackerfläche verfügt, die mehr als doppelt so groß ist wie die Transferfläche τ .

Haushaltsgröße und Produktivität

Zu Beginn der Simulation verfügen alle Haushalte über dieselbe Anzahl an Mitgliedern, p_0 . In jedem Jahr verliert jeder Haushalt ein Haushaltsmitglied mit einer Wahrscheinlichkeit von $1/40$, womit eine durchschnittliche Lebensdauer von 40 Jahren unterstellt wird. Wenn ein

Haushalt in einem Jahr gar keinen Getreidevorrat mehr hat und damit der Getreidekonsum gleich Null ist, sterben alle Haushaltsmitglieder und der Haushalt scheidet aus der Simulation aus. Sein Bestand an Ackerland verschwindet dann ebenfalls⁹. Es werden in diesem Modell keine neuen Haushalte gebildet, weder durch Aufspaltung vorhandener Haushalte noch durch exogene Zuwanderung⁹.

Wenn der Konsum eines Haushaltes unter der Hungerschwelle liegt, stirbt die Hälfte der Haushaltsmitglieder mit der Wahrscheinlichkeit $\chi_{it} = 1 - \frac{c_{it}/p_{it}}{H}$. Je geringer der Pro-Kopf-Konsum relativ zur Pro-Kopf-Hungerschwelle ist, desto wahrscheinlicher sterben Haushaltsmitglieder an Hunger¹⁰.

Ein Jahr, in dem der Konsum über der Hungerschwelle liegt, wird als „gutes Jahr“ gezählt. Nach ϱ guten Jahren in Folge erhöht sich die Personenzahl eines Haushalts um eins. Damit soll erfasst werden, dass Neugeborene und Kleinkinder in Hungerjahren mit großer Wahrscheinlichkeit sterben und damit nicht das Alter erreichen, ab dem sie in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. ϱ könnte dann als dieses Alter interpretiert werden. Die Reproduktionsmodellierung ist also nicht so zu verstehen, dass nur nach einer bestimmten Anzahl „guter Jahre“ Kinder geboren werden. Vielmehr ist die Modellierung eher so zu interpretieren, dass die regelmäßig geborenen Kinder das Jugendalter nur nach einer Reihe von Jahren ohne Hunger erreichen.

Der Ernährungszustand bestimmt auch die Arbeitsproduktivität π der Haushaltsmitglieder:

$$\pi_{it} = \left(\frac{c_{it}/p_{it}}{H} \right)^\phi$$

Der Produktivitätsparameter ϕ ist dabei größer 0. Aus dem Produkt der Arbeitsproduktivität mit der Anzahl der Personen in einem Haushalt ergibt sich dessen Arbeitskraft:

$$l_{it} = \pi_{it} p_{it}$$

Auf diese Weise kann sich eine geringe Ernte auf die Ernte im Folgejahr auswirken, da eine Mangelernährung das Arbeitsvolumen für die Getreideproduktion verringert.

Getreideverlust

Zum Abschluss eines Simulationsschritts wird für jeden Haushalt bestimmt, welchen Anteil δ_{it} seiner Getreideersparnis er zufällig verliert, wobei δ_{it} eine Zufallszahl zwischen 0 und dem Parameter $0 \leq \Delta < 1$ ist.

Parametrisierung und Implementierung

Um das Modell am Computer simulieren zu können, müssen numerische Werte für die Modellparameter gewählt werden. Dies erfolgt hier völlig willkürlich ohne den Versuch einer empirischen Validierung. Die verwendeten Parameterwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Um zu sehen, wie das Modell auf Variationen der Parameter reagiert und welche Parameter besonders starken Einfluss auf die Modellergebnisse haben, ist eine Sensitivitätsanalyse erforderlich. Auf die Beschreibung der Sensitivitätsanalyse soll hier verzichtet werden, um

Variable	Wert	Beschreibung
p_0	20	Anzahl der Haushalte zu Beginn
a_0	6	Größe des Landbesitzes zu Beginn
q_1	4	Parameter der Beta-Verteilung der idiosynkratischen Schocks
q_2	2	Parameter der Beta-Verteilung der idiosynkratischen Schocks
ρ	2	Anzahl der Verwandtschaftsbeziehungen
r	0.05	Zinssatz für Getreidekredite
τ	0.015	Landeinheiten, die für Getreide abgegeben werden müssen
H	15	Kornmenge pro Kopf, unterhalb derer ein Haushalt hungert und eine erhöhte Sterbewahrscheinlichkeit hat
σ	1	Optimale Saatmenge jede Landeinheit
b	10	Parameter der Produktionsfunktion
c	10	Parameter der Produktionsfunktion
d	15	Parameter der Produktionsfunktion
a	1	Anteil der optimalen Saatmenge, der gespart wird
ϕ	1	Produktivitätsparameter
ϱ	10	Zahl der guten Jahre in Folge, nach denen der die Haushaltsgröße um eine Person wächst
γ	0.2	Parameter der Konsumfunktion
Δ	0.1	Maximaler Anteil des Getreidebestands, der verdirbt

Tab. 1. Parameter und Startwerte.

den Aufsatz kurz und lesbar zu halten. Für die im nächsten Abschnitt durchgeführte Argumentation ist die Sensitivitätsanalyse auch von nachrangigem Interesse¹¹.

Das Modell wurde in der Simulationssoftware NetLogo (vgl. Wilensky 1999) implementiert.

Ergebnisse

Die geeignete Analyse agentenbasierter Modelle ist oft nicht einfach und erfordert in vielen Fällen einen erheblichen statistischen Aufwand. In dieser Arbeit soll das vorgestellte Modell nicht in allen Einzelheiten untersucht werden, sondern ich konzentriere mich auf die (weitgehend graphische) Darstellung einiger interessanter Effekte. Mit der oben beschriebenen Parametrisierung wurden fünf Simulationsdurchläufe über jeweils 500 Simulationsperioden durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Simulationsdurchläufe sind sehr ähnlich, was bedeutet, dass die stochastischen Einflüsse die Ergebnisse nicht übermäßig beeinflussen.

Die zentrale Variable dieser Analyse ist der jeweilige Getreidebestand der Haushalte am Ende eines Jahres (=Simulationsschritts). Die materielle Ungleichheit zwischen den Haushalten zu einem Zeitpunkt kann anhand der jeweiligen Getreidebestände gemessen werden, die sowohl Konsum- als auch Produktionsmöglichkeiten sind. Der Getreidebestand ist somit das Vermögen der Haushalte.

Eine einfache Möglichkeit, die Vermögensungleichheit zwischen den Haushalten zu messen, besteht in der Berechnung des Variationskoeffizienten, der das Verhältnis zwischen der Standardabweichung und dem Mittelwert der Getreidebestände zwischen den Haushalten zu einem Zeitpunkt ist. Der Variationskoeffizient ist ein normiertes Streuungsmaß.

Ein anderes Maß, das in der Ungleichheitsforschung sehr häufig verwendet wird, ist der Gini-Koeffizient, der Werte zwischen 0 (vollkommene Gleichverteilung) und 1 (vollständige Konzentration bei einem Agenten) annehmen kann. Gini-Koeffizienten werden am Ende des Abschnitts berichtet.

Variante Getreide auf Kredit

Abbildung 5 zeigt für einen exemplarischen Simulationsdurchlauf, wie sich der Variationskoeffizient des Getreidebestandes im Zeitablauf entwickelt. Die anderen vier durchgeführten Simulationsdurchläufe mit derselben Parametrisierung führen qualitativ zu denselben Ergebnissen, so dass auf eine Präsentation hier verzichtet wird¹².

Die Abbildung zeigt die Werte des Variationskoeffizienten selbst (blaue Linie) und eine polynomial geglättete Version (rote Linie). Man erkennt, dass der Variationskoeffizient von Jahr zu Jahr teilweise erheblich schwankt, was auf die stochastischen Ernteschocks der Haushalte zurückzuführen ist. Die Schocks führen also, wie nicht anders zu erwarten, zu temporärer Ungleichheit.

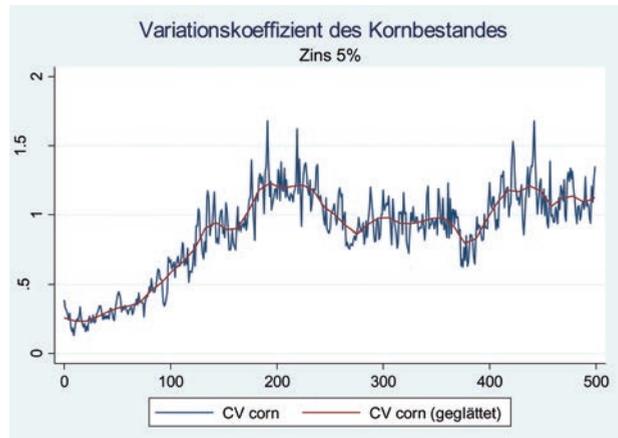


Abb. 5. Ungleichheit des Getreidebestandes im Zeitablauf.

Interessanter ist der langfristige Verlauf des Variationskoeffizienten, der an der geglätteten Linie gut zu erkennen ist. Zunächst ist festzustellen, dass die Ungleichheit vom Startzeitpunkt der Simulation ca. 150 Perioden

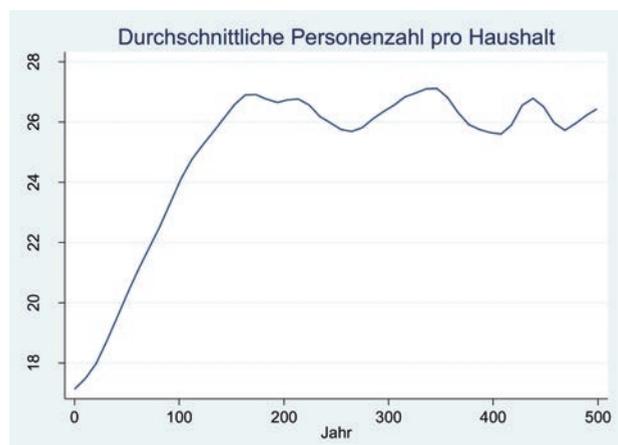


Abb. 6. Entwicklung der Haushaltsgröße im Zeitablauf.

lang kontinuierlich zunimmt. Wie Abbildung 6 zeigt, liegt dies daran, dass das Modell eine Anpassungsphase hat, in der die durchschnittliche Haushaltsgröße vom Startwert 17 auf einen langfristig stabilen Wert von ungefähr 26 ansteigt.

Der vorliegende Simulationslauf erreicht offenbar nach ca. 150 Simulationsjahren einen gleichgewichtigen Zustand. Abbildung 5 zeigt, dass der Variationskoeffizient ab diesem Zeitpunkt um 1 herum schwankt. Die idiosynkratischen Ernteschwankungen führen bei der Existenz von Getreidekrediten zu einer moderaten, im Zeitablauf relativ stabilen Ungleichheit im Getreidebestand der Haushalte.

Für das Wohlergehen der Haushalte ist jedoch nicht direkt der Getreidebestand relevant, sondern eigentlich der damit verbundene Konsum. Abbildung 7 zeigt, wie sich der Pro-Kopf-Konsum an Getreide aller 20 Haushalte im betrachteten Simulationsdurchlauf im Zeitablauf entwickelt.

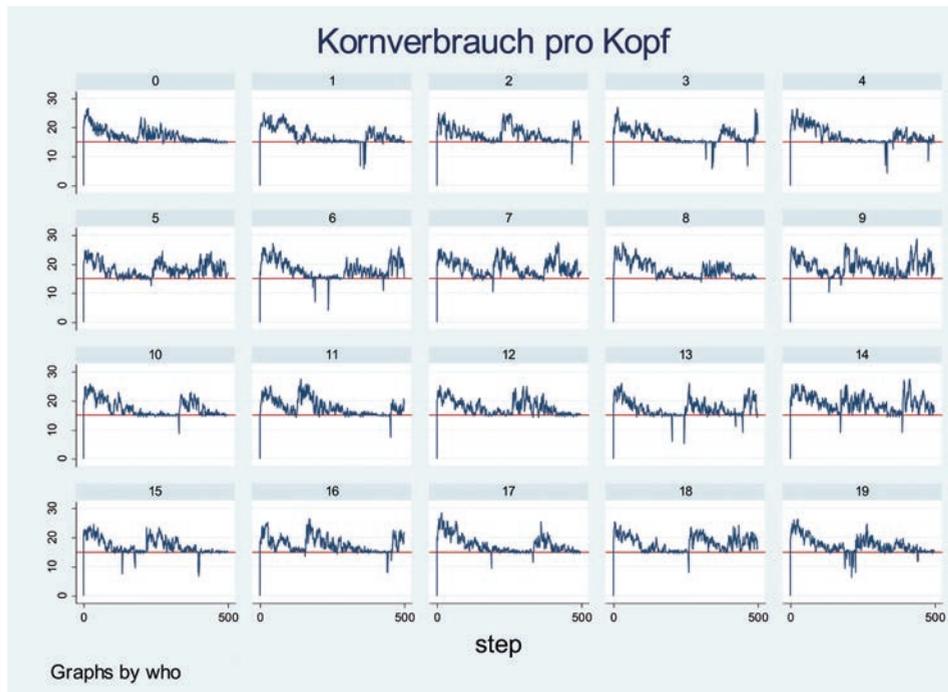


Abb. 7. Kornverbrauch der Haushalte im Zeitablauf.

Die rote Linie markiert die Hungerschwelle, die in dieser Parametrisierung bei 15 Getreideeinheiten pro Kopf und Jahr liegt. Man sieht, dass zu Beginn der Simulation in allen Haushalten die Individuen deutlich mehr Getreide konsumieren können. Daher wächst auch, wie in Abbildung 6 gezeigt, die durchschnittliche Haushaltsgröße an. Nach ca. 150 Perioden erreicht der Pro-Kopf-Konsum in alle Haushalten die Hungerschwelle. Ab dieser Zeit findet dann im Durchschnitt kein Bevölkerungswachstum mehr statt. Abbildung 7 zeigt, dass praktisch alle Haushalte gelegentlich hungern müssen, also im Fall einer Missernte keine Kredite bekommen konnten. Manche Haushalte, z. B. Haushalt 5, Haushalt 7 oder Haushalt 9, erreichen über längere Zeiträume einen Pro-Kopf-Konsum, der deutlich über der Hungerschwelle liegt. In anderen Haushalten, z. B. Haushalt 1, Haushalt 3 oder Haushalt 17, liegt der Konsum über längere Zeit sehr nahe an oder sogar unter der Hungerschwelle. Dies ist ein Zeichen, dass es in diesem Modell über viele Jahre hinweg deutliche Ungleichheiten im Pro-Kopf-Konsum gibt, obwohl die Umweltsituation für alle Haushalte identisch ist. Wichtig ist aber, dass in dieser Modellvariante in der Regel bei allen Haushalten gute und relativ schlechte Phasen vorkommen. Praktisch alle Haushalte durchlaufen Phasen, in denen der Konsum nahe der Hungerschwelle liegt, und andere, in denen mehr konsumiert werden kann. Dies bedeutet, dass in dieser Modellvariante die Ungleichheit sehr persistent sein kann, aber nicht permanent ist.

Variante Getreide gegen Land

Wenn es in der Gemeinschaft keine Kredite gibt, sondern im Notfall Ackerland abgegeben werden muss,

um Getreide zu erhalten, ändern sich die Ergebnisse deutlich. Abbildung 8 zeigt wiederum die Entwicklung des geglätteten Variationskoeffizienten des Getreidebestands im Zeitablauf. In dieser Abbildung wurde der Variationskoeffizient jeweils über fünf Simulationdurchläufe gemittelt und drei verschiedene Tauschverhältnisse zwischen Getreide und Land betrachtet. In der Graphik oben links von Abbildung 8 wurde angenommen, dass 0.01 Landeinheiten für das benötigte Getreide abgegeben werden müssen. Oben rechts ist der Getreidepreis 0.015 Landeinheiten und in der unteren Graphik beträgt er 0.02 Landeinheiten.

Abbildung 8 zeigt klar, dass die Ungleichheit im Getreidebestand im Zeitablauf zunimmt, wenn zur Vermeidung von Hunger Land gegen Getreide eingetauscht werden muss. Dies bestätigt die Hypothese bezüglich dieser Modellvariante. Es ist auch zu erkennen, dass das Modell wiederum eine Anpassungsphase von ca. 150 Perioden hat, in denen sich die Bevölkerung vom Startwert auf einen langfristig gleichgewichtigen Wert anpasst. Wenn dieser Wert erreicht ist, liegt der Variationskoeffizient nahe 1. Wenn 0.01 Landeinheiten abgegeben werden müssen, steigt der Variationskoeffizient nur langsam an, erreicht aber am Ende des Simulationszeitraums Werte von ca. 1.5. Je höher der Getreidepreis in Landeinheiten ist, desto schneller und stärker wächst die Ungleichheit. Bei 0.02 anzugebenden Landeinheiten beträgt der Variationskoeffizient am Ende des Zeitraums ungefähr 1.8.

Die zunehmende Ungleichheit im Getreidebestand der Haushalte hat ihre Ursache in der Entwicklung des Landbesitzes im Zeitablauf. Abbildung 9 zeigt, wie sich der Landbesitz der 20 Haushalte eines Simulationsdurchlaufs (Landgabe 0.015) im Zeitablauf verändert.

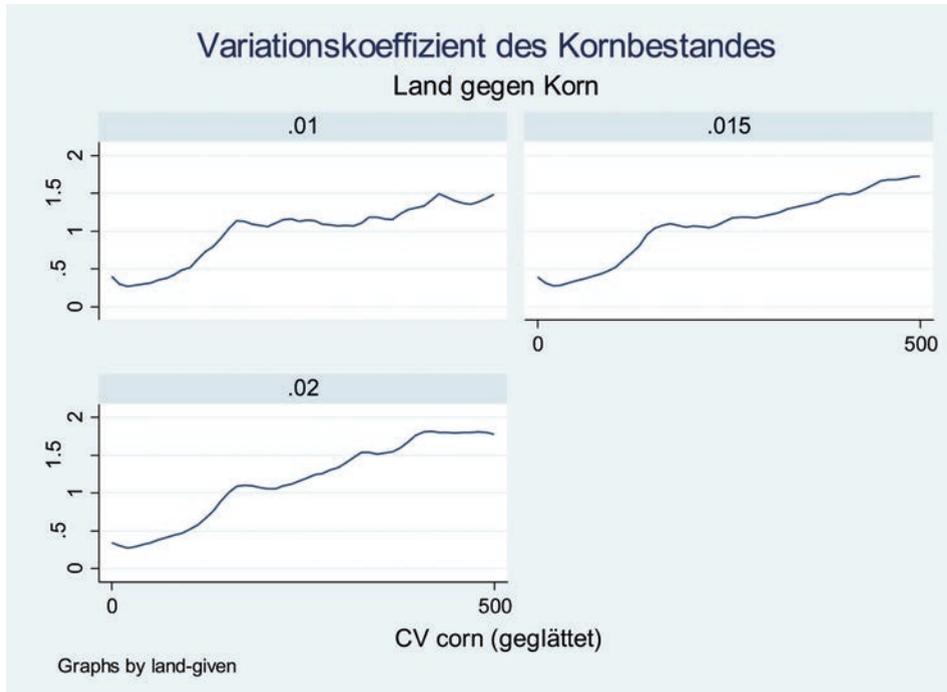


Abb. 8: Ungleichheit des Getreidebestandes im Zeitablauf in Abhängigkeit des Getreidepreises.

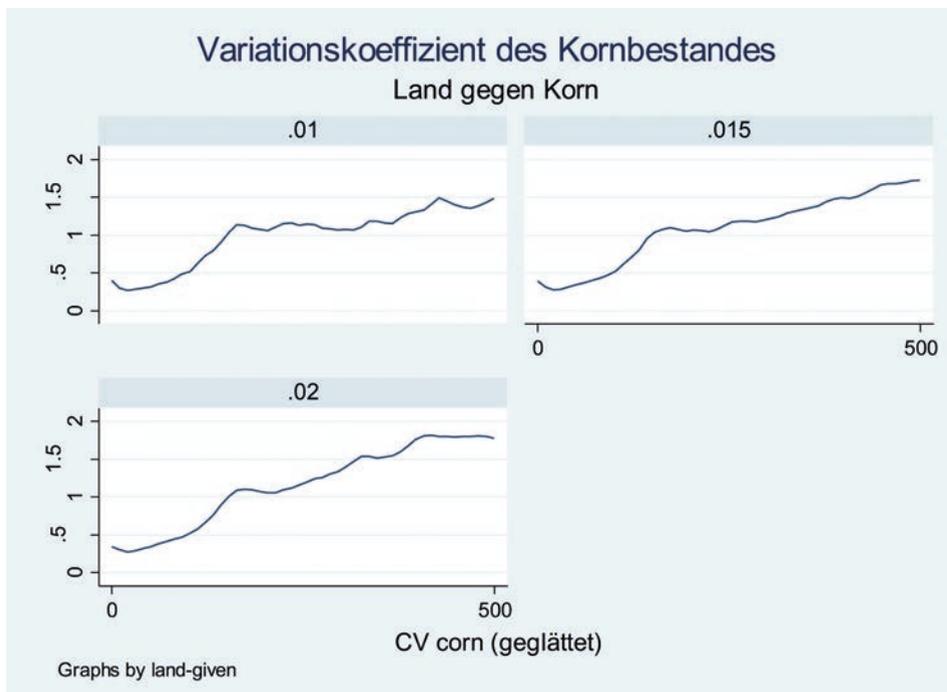


Abb. 9: Entwicklung des Landbesitzes der Haushalte im Zeitablauf.

In der verwendeten Parametrisierung haben zu Beginn der Simulation alle Haushalte 6 Landeinheiten zur Verfügung. Während der ersten Phase muss kein Haushalt Land abgeben, da durch die geringe Haushaltsgröße die Versorgungslage gut ist. Ab einem bestimmten Zeitpunkt unterschreitet die Ernte einzelner Haushalte aber die Hungerschwelle, so dass sie auf Getreidegaben der Verwandten angewiesen sind und dafür Land abgeben müssen (z.B. Haushalt 0, Haushalt 2 oder Haushalt 5). Dadurch wird ein kumulativer Prozess in Gang gesetzt. Es zeigt sich nämlich, dass die Entwicklung des Landbe-

standes der Haushalte monoton verläuft, d. h. Haushalte, die einmal Land abgeben mussten, geraten auch zukünftig in Notlagen und müssen noch mehr Land gegen Getreide eintauschen. Umgekehrt akkumulieren die Landempfänger immer weiteres Land im Zeitablauf¹³. Dadurch steigt ihre Produktionskapazität und damit auch ihr durchschnittlicher Getreidebestand.

Die dokumentierte wachsende Ungleichheit in Land- und Getreidevermögen in dieser Modellvariante wirkt sich auch auf den Konsum aus, wie Abbildung 10 zeigt. Man sieht, dass diejenigen Haushalte, die Land verlieren,

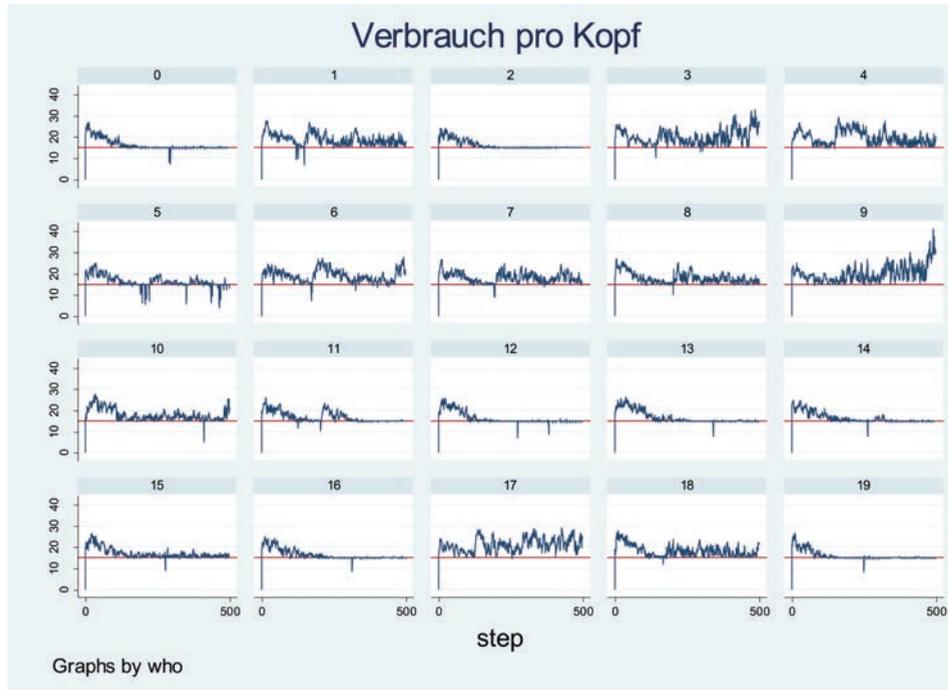


Abb. 10: Kornverbrauch der Haushalte im Zeitablauf.

dauerhaft an der Hungerschwelle konsumieren müssen (Haushalte 0, 2, 5, 11, 12, 13, 14, 16 und 19). Die Haushalte, deren Landbesitz zunimmt (Haushalte 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 17 und 18), können einen Getreideverbrauch realisieren, der im Durchschnitt deutlich über der Hungerschwelle liegt. Dies gilt vor allem für die Haushalte 3, 9 und 17, deren Landbesitz sich bis zum Ende der Simulation etwa verdoppelt.

Die Simulation zeigt also, dass der Transfer von Land infolge von zufälligen Missernten zu erheblicher permanenter Ungleichheit führen kann. In diesem institutionellen System entsteht im Zeitablauf eine Gruppe von Haushalten mit erheblichem Landbesitz, während eine andere Gruppe permanent Land verliert.

Gini-Koeffizienten

Die in den vergangenen beiden Abschnitten graphisch gezeigten Effekte kann man auch mit Hilfe des Gini-Koeffizienten quantifizieren. Damit die Ergebnisse mit den zuvor gezeigten Resultaten konsistent sind, wurde jeweils der Gini-Koeffizient des Landbesitzes, des Getreidebestandes und des Pro-Kopf- Getreidekonsums in den zuvor gezeigten Simulationsläufen berechnet (siehe Bamberg, et al., 2012). Auch hier beziehen sich die Ergebnisse also jeweils nur auf einen Simulationslauf, der aber repräsentativ für diese Parametrisierung ist. Die Effekte der Anpassungsphase zu Beginn der Simulation sind in den berechneten Gini-Koeffizienten nicht enthalten, da die Koeffizienten als Durchschnitt über alle Perioden ab Periode 200 berechnet wurden. Es werden auch die Gini-Koeffizienten für die Endperiode der Simulation angezeigt, jedoch ist der Einfluss der Zufallseffekte in ei-

ner Periode recht stark, so dass eine Durchschnittsbildung informativer ist.

		Land	Getreidebestand	Getreidebestand
Kredite	Durchschnitt	0	0.535	0.072
	Ende	0	0.639	0.054
Landtransfer	Durchschnitt	0.187	0.651	0.082
	Ende	0.377	0.732	0.126

Tab. 2. Gini-Koeffizienten jeweils eines Simulationsdurchlaufs.

Die Gini-Koeffizienten bestätigen, dass die Ungleichheit in der Landtransfer-Variante des Modells größer ist als in der Kredit-Variante. Die Ungleichheit im Getreidebestand ist größer als im Pro-Kopf- Konsum, was am hier unterstellten Konsumverhalten liegt. In den meisten Fällen konsumieren alle Haushalte in der Nähe der Hungerschwelle. Nur in seltenen Fällen liegt auf Grund der Verwandtschaftshilfe der tatsächliche Konsum unterhalb der Hungerschwelle. Per Annahme verläuft die Konsumfunktion oberhalb der Hungerschwelle recht flach, so dass nur ein geringer Anteil des Getreideüberschusses auch konsumiert wird. Die Ungleichheit im Getreidebestand ist allerdings erheblich. Bemerkenswert ist, dass dies auch in der Kreditvariante gilt. Die Zufallseinflüsse führen also zumindest temporär zu ausgeprägter Vermögensungleichheit. Diese kann sich hier jedoch nicht zwischen den Haushalten verfestigen, weil die Haushalte Getreidevermögen nur zur Aussaat und zum Konsum verwenden können. Könnten sie Getreideüber-

schüsse auch handeln und dadurch dauerhafte Güter erwerben, wäre dies möglicherweise anders.

Fazit und Ausblick

Das hier vorgestellte Modell ist eine einfache und sehr stilisierte Formalisierung einer Theorie, wie in Agrargemeinschaften materielle Ungleichheit entstehen und sich auf Dauer verfestigen könnte. Es wurde gezeigt, dass die Permanenz von materieller Ungleichheit von den Institutionen der Gemeinschaft abhängen kann.

Wenn die Gemeinschaft Ernteausfälle einzelner Mitglieder durch Kreditgewährung durch andere Mitglieder absichert, ist die durch Ernteschwankungen ausgelöste Ungleichheit zwar u. U. persistent, aber nicht permanent. Damit ist gemeint, dass einzelne Haushalte der Gemeinschaft zwar über längere Zeiträume über- oder unterdurchschnittliche Konsummöglichkeiten haben können, jedoch aus beiden Richtungen eine Rückkehr zum Mittelwert stattfindet. Damit kann sich in der langen Frist keine Privilegierung bestimmter Haushalte herausbilden.

Dies ist anders, wenn in der Gemeinschaft Ernteausfälle so kompensiert werden, dass der Getreideempfänger dem Geber einen Teil seines Ackerlandes als Gegenleistung übereignen muss. Die Landgabe stellt einen Kapitaltransfer dar, der die zukünftigen Produktionsmöglichkeiten des Landgebers dauerhaft einschränkt und die des Landempfängers permanent erhöht. Da sich die Personenzahl der Haushalte kurzfristig nicht an die geänderten Produktionsbedingungen anpasst, ist für landabgebende Haushalte die Ernte in der Zukunft erneut häufig zu niedrig, so dass sie weiteres Land abgeben müssen, um Hunger zu vermeiden. Dadurch entstehen kumulative Verstärkungen in der Form eines Teufelskreises bei den Landgebern und eines Engelskreises bei den Landempfängern. Am Ende entwickeln sich dann zwei Gruppen von Haushalten. Auf der einen Seite stehen diejenigen Haushalte, die das Pech hatten, zu Beginn von einer starken Missernte getroffen zu werden und daher Land abgeben mussten. Diese Haushalte verfügen am Ende nur noch über sehr wenig oder im Extremfall über gar kein Ackerland mehr (was im vorliegenden Modell zu ihrem Ausscheiden aus der Gemeinschaft führt). Auf der anderen Seite stehen die Landempfänger, die mehr und mehr Landbesitz akkumulieren.

Wie eingangs diskutiert, ist dieses Modell als theoretisches Modell gedacht und ist in keiner Weise empirisch validiert. Dies gilt sowohl für die Annahmen über das Verhalten der Agenten und die Institutionen der Gemeinschaft als auch für die verwendeten numerischen Werte der Modellparameter. In einem nächsten Forschungsschritt wäre zu klären, ob die Annahmen über den Produktionsprozess, das Spar- und Konsumverhalten und die Populationsdynamik für konkrete Gemeinschaften plausibel sind. Dies gilt auch für die Annahmen über die Ausgestaltung der Kreditgewährung und den Getreide-Land-Tausch.

Die Annahmen über Verhalten und Institutionen könnten mit Hilfe ethnologischer, historischer und verhaltenswissenschaftlicher Forschung überprüft werden. Wenn sich diese Annahmen als plausibel erweisen sollten, könnte man die Modellparameter mit geeigneten Daten empirisch kalibrieren, um zu interpretierbaren Ergebnissen zu kommen.

Das Modell kann natürlich in vielfacher Weise verändert und ergänzt werden, um es besser an archäologische Fragestellungen anzupassen. So wäre es denkbar, die Produktionsmöglichkeiten der Haushalte zu erweitern, z.B. um weitere Anbauprodukte oder Viehzucht. Auch könnte man Sammeln, Jagen und Fischen oder andere Formen der Nutzung natürlicher Ressourcen modellieren.

Weiter erscheint es plausibel, dass die Haushalte ihr Verhalten verändern, wenn sie Ackerland gewinnen oder verlieren. Wie bereits erwähnt könnte man auch weitere Konsummöglichkeiten oder Prestigegüter, Waffen oder Werkzeuge einführen, die z. B. gegen landwirtschaftliche Überschüsse getauscht werden. Interessant wäre sicher auch, die Haushalte in verschiedenen Dimensionen heterogen zu machen. Denkbar wäre z. B., dass sich die Haushalte abhängig von ihrem materiellen Wohlstand in Bezug auf sozialen Status und Macht innerhalb ihrer Gemeinschaft unterscheiden. Schließlich könnte man andere Institutionen der sozialen Absicherung gegen Notlagen betrachten, z. B. die Gewährung von Unterstützung gegen Frondienste oder gegen den Transfer von anderen Gütern oder Vieh.

Anmerkungen

- 1 Mit formalen Modellen sind solche Modelle gemeint, die in formaler Sprache formuliert sind, also z. B. der Mathematik oder Programmiersprachen
- 2 Es sei noch einmal betont, dass in diesem Aufsatz kein Versuch unternommen wird, die Annahmen empirisch zu validieren. Alle Annahmen dienen dazu, einen theoretisch möglichen Kausalzusammenhang in einem Modell zu zeigen.
- 3 Graeber (2011) argumentiert, dass bereits ca. 3000 Jahre v. Chr. Handel auf Kreditbasis betrieben wurde. In frühen städtischen Zivilisationen sei auch die Überschuldung von Privatleuten häufig gewesen.
- 4 Für Ökonomen sind Institutionen von Menschen erdachte Beschränkungen, die politische, ökonomische und soziale Interaktionen strukturieren. Institutionen können informelle Beschränkungen sein, z. B. Tabus, Gebräuche, Traditionen, oder formale Regeln wie Verfassungen, Gesetze oder Eigentumsrechte (siehe North, 1991, S. 97).
- 5 ODD steht für „Overview, design concepts, details“.
- 6 Weitere Details und der Programmcode sind auf Anfrage vom Autor erhältlich.
- 7 Im Computerprogramm knüpft jeder Haushalt zu Beginn der Simulation zwei Verbindungen zu anderen Haushalten. Da dies sequentiell geschieht, haben einige Haushalte mehr als zwei Verbindungen, da zu den von ihnen selbst erzeugten Verbindungen auch noch diejenigen hinzukommen, die andere Haushalte erstellt haben.
- 8 Eine alternative Modellierung wäre, das Land unter den Verwandten zu verteilen.
- 9 Es wird auch angenommen, dass Haushalte nicht abwandern, selbst wenn sie nur noch wenig Ackerland haben.

- 10 Alternativ könnte man auch annehmen, dass die Anzahl der verhungerten Haushaltsmitglieder proportional zum Abstand von der Hungerschwelle ist.
- 11 Details zur Sensitivitätsanalyse berichtet der Autor gern auf Anfrage.
- 12 Weitere Ergebnisse sind auf Anfrage erhältlich.
- 13 In diesem Beispiel sind das vor allem die Haushalte 3, 9 und 17.

Literatur

- Bamberg, G., Baur, F. und Krapp, M., 2012. *Statistik*. München: Oldenbourg Verlag.
- Colander, D., Holt, R.P.F. und Rosser, B.J.Jr., 2004. The Changing Face of Mainstream Economics. *Review of Political Economy* 16/4, S. 485-499
- Dean, J.S., Gumerman, G.J., Epstein, J.M., Axtell, R.L., Swedlund, A.C., Parker, M.T. and McCarroll, S., 2000. Understanding Anasazi Culture Change Through Agent-Based Modelling. In: T.A. Kohler, G.J. Gumerman, eds. 2000. *Dynamics in Human and Primate Societies. Agent-Based Modeling of social and spatial processes*. New York/Oxford: Oxford University Press, 179-207.
- Epstein, J.M. und Axtell, R., 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Brookings: MIT Press.
- Epstein, J.M., 2007. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton: Oxford University Press.
- Gilbert, N. und Troitzsch, K.G., 2005. *Simulation for the Social Scientist*. Maidenhead, UK: Open University Press.
- Graeber, D., 2011. *Debt: The First 5,000 Years*. New York: Melville House.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D.L., Polhill J.G., Giske, J., Railsback, S.F., 2010. The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221/23, S. 2760-2768.
- Hayden, B., 2001. Richman, Poorman, Beggarman, Chief: The Dynamics of Social Inequality. In: G. Feinman, T. Price, eds. 2001. *Archaeology at the Millenium: A sourcebook*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, S. 231-272.
- Janssen, M.A., 2009. Understanding Artificial Anasazi. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 13. [online].<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/13.html>>.
- Kowarik, K., Reschreiter, H. und Wurzer, G., 2010. Modeling a mine. Agent based Modeling, Systemdynamics and Experimental Archaeology applied to the Bronze Age Saltmines of Hallstatt. In: P. Anreiter, et al., eds. 2010. *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT*. Innsbruck: University Press, S. 199-208.
- Kowarik, K., 2012. Agents in Archaeology – Agent Based Modeling (ABM) in Archaeological Research. In: A. Koch, T. Kutzner, T. Eder, eds. 2012. *Geoinformationssysteme*. Berlin/Offenbach: Herbert Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH.
- North, D., 1991. Institutions. *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), S. 97-112.
- Tesfatsion, L., 2003. Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems. *Information Sciences*, S. 149, 263-269.
- Wilensky, U., 1999. *NetLogo*. *World Economic Forum (2014). Annual Meeting Report 2014*. Evanston, IL: Northwestern University.