

Kritische Mathematische Ökonomie und KI für ökologische Wirtschaftsplanung

Der Missbrauch mathematischer Modelle und die Ambivalenz von KI für Wirtschaftsdemokratie

Johannes Buchner,
Fachbereich Mathematik und Informatik der Freien Universität Berlin,
Institute for International Political Economy Berlin (IPE Berlin)

This version: September 14, 2026

ISSN: 2750-767X

ZNWU/SECP
Discussion Paper
No. 17

Abstract

Die dramatischen ökonomischen Folgen des Klimawandels werden in dem in weiten Teilen der Wirtschaftswissenschaft vorherrschenden neoklassischen Paradigma fundamental unterschätzt. Das hat auch mathematische Gründe, da dort Gleichgewichtsmodelle dominieren, die für die nichtlineare Struktur des Klimasystems ungeeignet sind. Wir schlagen daher eine „kritische mathematische Ökonomie“ vor, um einen solchen Missbrauch mathematischer Modelle zu kritisieren, bessere Modelle zu entwickeln, und auch über den Kapitalismus hinausweisende Wirtschaftsweisen mit Methoden aus der Mathematik und Informatik zu unterstützen. Es geht dabei insbesondere um die Möglichkeit und Notwendigkeit einer ökologischen und demokratischen Wirtschaftsplanung, auch mit Blick auf aktuelle KI-Entwicklungen. Wir betrachten sowohl technische Möglichkeiten als auch die Ambivalenz von KI aus progressiver Sicht genauer (inkl. verschiedener grundlegender Definitionen, was „KI“ genau bedeutet), mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Wirtschaftsdemokratie.

Acknowledgements:

Dank geht an Bernold Fiedler und Matheus R Grasselli für die wissenschaftliche Inspiration und an Andrea, Kolja und meine Eltern für die langjährige Unterstützung. Außerdem bin ich Nils Rochowicz für hilfreiche Kommentare zu Teilen des Textes und Walther Zeug für den kontinuierlichen Austausch zu demokratischer Wirtschaftsplanung dankbar. Alle verbleibenden Fehler sind meine eigenen.

Keywords: mathematical economics, nonequilibrium climate modelling, AI, democratic economic planning, circular economy

JEL Codes: A120, C02, Q54, Q57, P21, P41

Contact/Corresponding Author:

Johannes Buchner [buchner@math.fu-berlin.de]

Table of Contents

1.	Einleitung.....	1
2.	Kritische Mathematische Ökonomie.....	3
A.	Gleichgewichtsmodelle, das SMD-Theorem und die Grenzen der Mikrofundierung.....	3
B.	Ökologische Wirtschaftsplanung und Wirtschaftsdemokratie	5
3.	Künstliche Intelligenz.....	6
A.	Was ist Künstliche Intelligenz?	6
B.	Die Ambivalenz von KI	8
4.	KI für Wirtschaftsplanung.....	9
A.	„Cybernetic Democratic Economic Planning“ und KI	10
B.	Ökonomische Planung, Innovationen und KI	11
C.	Kreislaufwirtschaft, KI und Wirtschaftsplanung	11
D.	Das strategische Viereck für KI und Postkapitalismus.....	12
5.	Fazit: Notwendigkeit einer kritischer mathematischer Ökonomie	13
6.	Ausblick: Interdisziplinäre Forschung zu Postkapitalismus	13
	Literatur.....	14

1. Einleitung

*„Probleme kann man niemals mit der gleichen Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind“
(A. Einstein)*

*“The biggest problem is not to let people accept new ideas, but to let them forget the old ones”
(J.M. Keynes)*

Mit Blick auf die existenzielle Klimakrise durch den menschengemachten Klimawandel ist der globale „KI-Kapitalismus“ (Spiegel, 2026)¹ mit deren adäquaten Bearbeitung offensichtlich vollkommen überfordert. Anstatt der gebotenen Beschleunigung des Ausstiegs aus fossilen Energien und der möglichst schnellen Reduktion des Treibhausgasausstoßes auf „Netto-Null“ steigen u.a. durch den ungebremsen Bau immer neuer KI-Rechenzentren die globalen Treibhausgas-Emissionen weiter an. Allein in den USA sind in den nächsten Jahren 99 neue Gaskraftwerke für KI-Datenzentren geplant, die den CO₂-Ausstoß des Landes um mehr als ein Fünftel bis hin zu einem Drittel erhöhen könnten (Heise-News, 2026).

Gleichzeitig wird der Klimawandel im vorherrschenden neoklassischen Paradigma der Wirtschaftswissenschaft fundamental unterschätzt. So beschreibt Steve Keen in seinem Artikel (Keen, 2021) schwerwiegende methodische Probleme etwa in den Schätzungen der ökonomischen Schäden des Klimawandels des prominenten Modells von W. Nordhaus, und folgert:

„Correcting for these errors makes it feasible that the economic damages from climate change are at least an order of magnitude worse than forecast by economists, and may be so great as to threaten the survival of human civilization“ (S.1).

Weiter zeigt Keen gemeinsam mit dem Mathematiker M. Grasselli und anderen Ko-Autoren in dem Artikel (Keen et al., 2021), dass die mathematische Struktur des DICE-Modells von W. Nordhaus gar keinen „Klima-Kollaps“ zulässt, sondern durch einen Fokus auf stabile Gleichgewichte nichtlineare Effekte massiv unterschätzt. In Bezug auf die für Klimamodelle entscheidenden „Kippunkte“ lautet der Titel eines weiteren Artikels der genannten Autoren „Estimates of economic and environmental damages from tipping points cannot be reconciled with the scientific literature“ (Keen et al., 2022).

Es hat katastrophale Folgen, wenn gleichzeitig die Emissionen immer weiter steigen, und die Folgen davon massiv unterschätzt werden, auch in Modellen, die für die Vorhersagen des Weltklimarates IPPC genutzt werden, hierzu siehe (Grasselli and Buchner, 2026). Denn die nichtlineare mathematische Struktur des Klimasystems bedeutet, dass einmal überschrittene Kippunkte kaum mehr „heilbar“ sind (PIK, 2026). Und anders als in Bezug auf die Finanzkrise, in der sich schon einmal fundamentale methodische Probleme der neoklassischen Gleichgewichtstheorie gezeigt haben², ist bei der Klimakrise auch kein „Neustart“ etwa durch eine Rettung der Banken möglich.

Wir argumentieren in diesem Artikel, dass sowohl das vorherrschende Denken in Gleichgewichtsmodellen in weiten Teilen der ökonomischen Wissenschaft als auch die wahrgenommene Alternativlosigkeit des kapitalistischen Wirtschaftssystems wesentliche Ursachen dieser unheilvollen Entwicklung

¹ Dort heißt es u.a. „Klar scheint, dass das bestehende Wirtschafts- und Gesellschaftssystem dringend ein Update benötigt, um diesen technologischen Supersturm zu überstehen (...) Oder ist das Ende des Kapitalismus gekommen?“

² Diesen Bezug stellt auch der Titel von (Grasselli and Buchner, 2026) her.

sind. In beiden Fällen ist im Folgenden das Ziel, Alternativen aufzeigen. Im Lichte der beiden Eingangszitate plädieren wir im ersten Teil dafür, in der Wirtschaftswissenschaft das Gleichgewichtsdogma zu „vergessen“ (auch wenn das ja laut Keynes sehr schwierig ist), und durch eine „neue Denkweise“ auch post-kapitalistische Ökonomien vorstellbar zu machen, da das bisher vorherrschende Wirtschaftssystem mit der Klimakrise und der KI-Entwicklung „Probleme verursacht hat, die nicht mit der gleichen Denkweise gelöst werden können“. Genauer geht es im ersten Teil um die Notwendigkeit einer kritischen Auseinandersetzung mit der fehlerhaften mathematischen Modellierung der Klimakrise. Wir kritisieren die Hegemonie von mathematisch fragwürdigen Gleichgewichtsmodellen in der Wirtschaftswissenschaft, die nichtlineare Effekte nicht angemessen berücksichtigt und die Schäden durch den Klimawandel massiv unterschätzt, (Keen, 2021; Keen et al., 2022, 2021). Exemplarisch betrachten wir in diesem Artikel die Grenzen der Mikrofundierung aufgrund der sogenannten „Sonnenschein-Mantel-Debreu-Theoreme“³ genauer. Obwohl diese fundamentalen Sätze der (mathematischen) Ökonomie seit über 50 Jahren bekannt sind (Debreu, 1974; Mantel, 1974; Sonnenschein, 1973, 1972), werden die dramatischen Konsequenzen für Gleichgewichtsmodelle im dominanten Paradigma der Wirtschaftswissenschaft weitgehend ignoriert. Dieses Problem betrifft auch solche Modelle, die als Grundlage für die IPPC-Berichte dienen - ausführlich dazu siehe (Grasselli and Buchner, 2026), dort werden auch alternative Modellierungsansätze beschrieben.

Die fehlerhafte Anwendung und der Missbrauch von mathematischen Modellen im Finanzsektor, die sich im Lichte der Finanzkrise gezeigt hat, wiederholt sich nun in Bezug auf das Klima, mit dramatischen Folgen. Es ist die gesellschaftliche Verantwortung von Mathematiker*innen, das nicht einfach hinzunehmen, sondern sich dem entschieden entgegenzustellen. Aus mathematischer Sicht ist daher ein von uns als „Kritische Mathematische Ökonomie“ (Buchner, 2025a) bezeichneter Ansatz notwendig, den wir in diesem Artikel genauer darstellen (siehe Kapitel 2), auch um Mathematiker*innen dafür zu gewinnen, sich an diesem Forschungsgebiet zu beteiligen.

Im zweiten Teil des Artikels geht es um die Notwendigkeit einer ökologischen und demokratischen Wirtschaftsplanung und die Frage, wie moderne Methoden aus der Informatik wie z.B. KI dabei helfen können. Da der Begriff der „Künstlichen Intelligenz“ oft sehr unscharf verwendet wird, klären wir zunächst kurz Grundlagen und Definitionen (Kapitel 3), und widmen uns dann in Kapitel 4 dem Thema „KI und Wirtschaftsplanung“. Denn seit einigen Jahren gibt es vermehrt akademische und politische Diskussionen über demokratische Wirtschaftsplanung (Groos, 2021; Groos and Sorg, 2025; Sorg, 2025; Sorg and Groos, 2025), insbesondere mit ökologischem Schwerpunkt (Durand et al., 2023; Durand and Keucheyan, 2026; Reeves et al., 2026; Zeug, 2026). Auch die Frage, ob und in welcher Form moderne Technologien und KI-Methoden dabei helfen könnten, insbesondere mit Blick auf Innovationen, wird (kontrovers) diskutiert, siehe z.B. (Benanav, 2026; Buchner, 2025b, 2025c; Morozov, 2025; Rochowicz, 2024; Samothrakis, 2024, 2021).

Wir erläutern bestehende Ansätze und Ideen, wie KI-Methoden für Kreislaufwirtschaft (Buchner and Kluß, 2023; Prosper, 2025) und ökologische Wirtschaftsplanung (Buchner, 2025b) verwendet werden können. Außerdem gehen wir auf „kybernetische demokratische Planung“ (Zeug, 2026) und „Innovationsplanung und KI“, basierend auf (Rochowicz, 2024), genauer ein. Anschließend beleuchten wir die Ambivalenz aktueller KI-Entwicklungen aus progressiver Sicht, insbesondere mit Blick auf Nachhaltigkeit. Neben dem (notwendigen) Protest gegen „Big-Tech-KI“ und den damit einhergehenden ökologi-

³ Bei den SMD-Theoremen handelt es sich um sehr starke und allgemeine negative mathematische Aussagen darüber, welche Eigenschaften bei Aggregation in ökonomischen Modellen erhalten bleiben bzw. verloren gehen. In der neoklassischen Theorie wird dieses Problem einfach umgangen über die Annahme eines „Repräsentativen Agenten“, ausführlich dazu siehe Kapitel A

schen Verwerfungen ist eine strenge Regulierung von KI unter den bestehenden ökonomischen Bedingungen notwendig. Wir betonen aber auch die positiven Potentiale von KI für die Organisation einer post-kapitalistischen Ökonomie und die Notwendigkeit der Ansprache kritischer Informatiker*innen für die konkrete Organisation einer ökologischen und demokratischen Wirtschaftsplanung.

Diese Aspekte führen wir in einem „strategischen Viereck bzgl. KI und Postkapitalismus“ zusammen, um die Ambivalenz der aktuellen KI-Entwicklung zu verdeutlichen. In einem Ausblick beschreiben wir abschließend neue Forschungsideen und konkrete Forschungsprojekte.

2. Kritische Mathematische Ökonomie

Unter dem Begriff der „Critical Mathematical Economics“ (Buchner, 2025a), also der „kritischen mathematischen Ökonomie“, lassen sich drei miteinander verbundene Arbeitsbereiche zusammenfassen. Erstens geht es um eine mathematische Kritik an Modellen der vorherrschenden neoklassischen Ökonomie, beispielsweise anhand der Sonnenschein-Mantel-Debreu-Theoreme. Zweitens geht es um die Erweiterung bestehender heterodoxer Modelle durch Elemente aus der Komplexitätsforschung und durch moderne Methoden der Mathematik und Informatik. Drittens steht die Entwicklung von Modellen für Wirtschaftsdemokratie und Postkapitalismus, insbesondere für eine ökologische und demokratische Wirtschaftsplanung, im Mittelpunkt.

Zum zweiten Aspekt, also der Idee, durch Ansätze aus der Mathematik und Informatik zur Weiterentwicklung von heterodoxen ökonomischen Modellen beizutragen, verweisen wir auf (Buchner, 2025a), Kapitel 3 (S.7). Dort wird beispielsweise beschrieben, wie Methoden aus der Nichtlinearen Dynamik in makroökonomischen Modellen zum Einsatz kommen können, so etwa zur Beschreibung und Analyse von Goodwin (Grasselli and Maheshwari, 2018) und Pseudo-Goodwin-Zyklen (Buchner, 2025d; Stockhammer and Michell, 2017) oder des Keen-Modells bzgl. finanzieller Fragilität und Erweiterungen davon, beispielsweise um Klimaaspekte (Bolker et al., 2021; Grasselli and Costa Lima, 2012). Wir fokussieren im Weiteren auf den ersten und den dritten der oben genannten drei Aspekt der „Kritischen Mathematischen Ökonomie“.

A. Gleichgewichtsmodelle, das SMD-Theorem und die Grenzen der Mikrofundierung

Ein wichtiger Ausgangspunkt der mathematischen Kritik des dominanten ökonomischen Paradigmas ist die dortige zentrale Rolle allgemeiner Gleichgewichtstheorien. Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE)-Modelle sind ein wichtiges Standardmodell der makroökonomischen Theorie. Sie versuchen, die Gesamtwirtschaft mit Modellen zu erklären, die auf starken mikroökonomischen Grundlagen beruhen. Dabei werden kollektive Entscheidungen als rational angenommener Individuen durch Gleichgewichtsmodelle modelliert, unter anderem über die Konzepte der „Rational Expectations“⁴ und des „Repräsentativen Agenten“⁵. Zugleich wird angenommen, dass die relevanten Variablen alle gleichzeitig im Gleichgewicht sind und lediglich stochastische Störungen auftreten. Aus der Perspektive der mathematischen Forschung, insbesondere mit Blick auf das Gebiet „nichtlineare Dynamik“ (Gurevich, 2018), sind diese Annahmen hochproblematisch, weil komplexe wirtschaftliche und Prozesse gerade durch Nichtlinearitäten, Rückkopplungen und mögliche multiple Dynamiken geprägt sein können.

⁴ Für eine Kritik daran siehe z.B. (King, 2012) oder kürzlich (Moll, 2026)

⁵ Wir werden dieses Konzept und seine Probleme in diesem Artikel noch genauer beleuchten, es wurde auch kritisiert in (Kirman, 1992)

Das gilt insbesondere mit Blick auf ökologische Fragen und den Klimawandel, da das globale Klimasystem hochgradig nichtlinear ist.

Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang das Sonnenschein-Mantel-Debreu (SMD)-Theorem, das auch als „anything goes“-Theorem bezeichnet wird. In einer Formulierung nach Mas-Colell⁶ besagt das Theorem vereinfacht, dass für jedes hinreichend reguläre Vektorfeld, das bestimmte Randbedingungen erfüllt, eine Ökonomie konstruiert werden kann, deren Überschussnachfragefunktion auf einem geeigneten Bereich mit diesem Vektorfeld übereinstimmt. Auch wenn jeder Agent einer Ökonomie, einzeln betrachtet, rationale und die klassischen Annahmen der Theorie erfüllende Präferenzen hat, kann, insgesamt betrachtet, die resultierende aggregierte Überschussnachfragefunktion fast beliebige Formen annehmen (bis auf einige grundlegende Eigenschaften z.B. bezüglich der Regularität wie Stetigkeit). Die Existenz eines Gleichgewichts kann noch bewiesen werden, aber die Eindeutigkeit oder gar die lokale Stabilität folgt nicht. Die globale Dynamik kann sehr komplex sein, mit multiplen (stabilen und instabilen) Gleichgewichten, verschiedenen Einzugsgebieten und periodischen Grenzzyklen bis hin zu einer chaotischen Instabilität.

Dies widerlegt mathematisch die weit verbreitete Vorstellung, dass sich aus einer Mikrofundierung auf der Ebene rationaler Individuen automatisch ein eindeutig bestimmtes stabiles Gleichgewicht ergibt – vielmehr muss ein solches durch ökonomisch kaum begründbare zusätzliche Annahmen künstlich herbeigeführt werden. Meist geschieht dies durch die Annahme eines „repräsentativen Agenten“⁷, also der sehr weitreichenden und empirisch offensichtlich falschen Annahme, dass alle Agenten der Ökonomie identisch sind und die gleichen Präferenzen haben. Das Problem, das durch Aggregation eine komplexe Dynamik entstehen kann, wird hierdurch jedoch in keiner Weise „gelöst“ oder adäquat bearbeitet, sondern lediglich umgangen und verschleiert durch die kontrafaktische Annahme, dass es wegen der identischen Agenten gar kein Aggregationsproblem gibt.

Dies hat dramatische Konsequenzen, auch für ökonomische Klimamodelle: Die „eindeutige, stabile Trajektorie“ in gleichgewichtsbasierten Modellen, die wie beschrieben auch für die Schätzung der ökonomischen Schäden durch den Klimawandel verwendet wird, ist keine Konsequenz einer komplexen dezentralen „Optimierung“, so wie dies durch die behauptete „rationale Mikrofundierung“ nahegelegt wird, im Gegenteil: Obwohl es mathematische Resultate wie das SMD-Theorem gibt, die darauf hinweisen, dass durch Aggregation komplexe Dynamiken entstehen können, wird durch die künstliche Annahme, dass alle ökonomischen Agenten identisch sind (euphemistisch als „repräsentativ“ bezeichnet), das eigentlich zu zeigende und von dieser Denkschule gewünschte Ergebnis (es gibt einen stabilen Gleichgewichtspfad in der Ökonomie) durch eine künstliche Annahme selbst herbeigeführt.

Daher kann es in solchen Modellen auch gar keine instabilen oder chaotischen Dynamiken geben, per Annahme – was aber in Bezug auf die Fragen, die mit diesen Modellen beantwortet werden sollen, höchst problematisch und geradezu absurd ist: Wenn es in dem zugrundeliegenden Modell gar nicht die Möglichkeit gibt, dass es zu einer „planetaren Krise“ durch den Klimawandel (i.e. durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen) kommt, ist dieses Modell schlicht ungeeignet, um die Frage zu beantworten, welche Maßnahmen erforderlich sind, um solche eine (potentiell die menschliche Existenz

⁶ siehe (Grasselli and Buchner, 2026) oder (Buchner, 2025a), S. 5 für eine genaue mathematische Formulierung, letztere basiert auf (Mas-Colell, 1985).

⁷ Zur historischen Einordnung schreiben (Colander et al., 2009) unter Bezugnahme auf die „negativen Resultate“ der SMD-Theoreme: „The historical emergence of the representative agent paradigm is a mystery. Ironically, it appeared over the 70s after a period of intense discussions on the problem of aggregation in economics (that basically yielded negative results such as the impossibility to demonstrate ‘nice’ properties of aggregate demand or supply functions without imposing extreme assumptions on individual behavior). The representative agent appeared without methodological discussion“ (S. 7).

bedrohende) Klimakrise zu verhindern. Solche Modelle sollten nicht verwendet werden, um die Klimapolitik zu informieren, insbesondere nicht vom „Weltklimarat“ (IPPC)⁸.

Auch im Bereich von „Climate Finance“ bei der Bewertung von Finanzrisiken durch den Klimawandel werden solche Gleichgewichtsmodelle zugrunde gelegt – eine ausführliche Darstellung der hier nur angedeuteten mathematischen Grundlagen sowie der Konsequenzen des Missbrauchs mathematischer Modelle für die ökonomische Klimamodellierung findet sich in (Grasselli and Buchner, 2026) .

B. Ökologische Wirtschaftsplanung und Wirtschaftsdemokratie

Was kann der Markt, was kann die Planung? Diese Debatte, die auch in der evangelischen Akademie Tutzing geführt wurde („Tutzing-Tagung“, 2026), stellt die Frage, wie wirtschaftliche Prozesse praktisch organisiert werden können, wenn demokratische Kontrolle, soziale Bedürfnisse und ökologische Grenzen gleichzeitig berücksichtigt werden sollen. Der Begriff der „Wirtschaftsdemokratie“ (Naphtali and Kuda, 1977; Šik, 1979) bringt hierbei zum Ausdruck, dass die Demokratie „nicht an den Werkstoren“ enden soll, sondern dass angestrebt wird, sowohl innerbetriebliche Entscheidungen als auch gesamtgesellschaftliche wirtschaftliche und ökologische Planung als demokratischen Prozess zu organisieren. Es geht hierbei zudem um eine klare Abgrenzung zu autoritären und undemokratischen „zentralen Planwirtschaften“, auch aufgrund historischer Erfahrungen. Dabei ist eine große Herausforderung zu klären, wie das angesichts der Komplexität moderner Ökonomien zu bewerkstelligen ist, was auch die Einbindung von aktuellen Erkenntnissen und Methoden aus den „Komplexitätswissenschaften“, Mathematik und Informatik erfordert. In Zuge der in der Einleitung erwähnten neueren „Planungs-Debatte“ stellt sich insbesondere die Frage, welche Rolle demokratische ökologische Wirtschaftsplanung für ein solches zukünftiges Wirtschaftssystem spielen kann.

Ähnliche Probleme, mit einem Schwerpunkt auf makroökonomische Modellierung, werden auch in einer aktuellen Ausgabe der Zeitschrift „Ecological Economics“ diskutiert, in dem sich u.a. Beiträge mit agentenbasierter Simulation und multi-kriteriellen Signalen⁹ für die sozial-ökologische Transformation (Foramitti et al., 2026) sowie den Modellierungsanforderungen für eine demokratische und ökologische Wirtschaftsplanung beschäftigen (Reeves et al., 2026). Wir legen hier den Schwerpunkt auf die Frage, welchen Beitrag Methoden der sogenannten „Künstlichen Intelligenz“ leisten können. Da KI aktuell in Gesellschaft sehr kontrovers diskutiert wird, klären wir dazu im nächsten Kapitel kurz Grundlagen und Definitionen, um dann in Kapitel 4 das Thema „KI und Wirtschaftsplanung“ zu behandeln.

⁸ vgl. hierzu auch (Keen et al., 2021), Kapitel 4c mit dem Titel „On the impossibility of collapse in the DICE model“ (S. 22). Am Ende des Artikels schlussfolgern die Autoren (S. 28): „We conclude that there are fundamental and insurmountable weaknesses in estimates by economists of the damages from climate change, such that they should not be used to assess the risks from climate change. Any models calibrated to this data should also be rejected and not used to inform climate policy (...). Given the failings in the economic literature detailed in this paper, this situation cannot be allowed to continue. Where economics has failed, science should prevail“.

⁹ Im Kapitalismus gibt es nur ein „single criterion“ des Agierens für Firmen, da diese die ökonomische Aufgabe zugewiesen bekommen, allein den Profit zu maximieren. Diese „Optimierungsaufgabe“ kann in jedem Mikroökonomie-Lehrbuch nachgelesen werden, und ist kein moralisches Urteil, sondern ein ökonomischer Fakt. Aus ökologischer Sicht ist dies höchst problematisch, weil die Berücksichtigung ökologischer (und sozialer) Aspekte dem fundamentalen Ziel von Firmen im Kapitalismus, der Profitmaximierung, entgegensteht.

3. Künstliche Intelligenz

Das Jahr 2026 wird wohl als das Jahr in die Geschichte eingehen, in der KI (bzw. große Sprachmodelle) den Durchbruch in Bezug auf mathematische Forschung vollzogen haben¹⁰. Nachdem bereits einige „Erdös-Probleme“ gelöst wurden, exemplarisch siehe (Alon et al., 2026), konnte im August 2026 die „Jacobi-Vermutung“ widerlegt werden („DMV-Blog“, 2026). Diese stellte ein schwieriges, offenes Problem der Mathematik dar, und war auch ein Teil der Liste von Stephen Smale der „wichtigen offenen Probleme in der Mathematik am Ende des 20. Jahrhunderts“ (Smale, 1999)¹¹. Auch in der Physik gibt es immer neue Anwendungen von KI, beispielsweise für das Design völlig neuartiger Experimente (Klimesch et al., 2026). Dabei kommen auch ganz andere KI-Methoden zum Einsatz als die großen Sprachmodelle, die oft alleinig mit „KI“ assoziiert werden. Das kann zu Missverständnissen führen, wenn KI als Synonym für „große Sprachmodelle von Big-Tech-Konzernen“ verwendet wird. Um die Debatte über KI auf eine solide fachliche Grundlage zu stellen, gehen wir im Folgenden zunächst auf einige Grundlegende Definitionen, Modelle und Kritiken ein, bevor wir dann im darauffolgenden Kapitel die Potentiale von KI-Methoden für ökologische und demokratische Wirtschaftsplanung behandeln.

A. Was ist Künstliche Intelligenz?

Wenn von „Künstlicher Intelligenz“ die Rede ist, stellt sich zunächst die Frage, was das überhaupt genau bedeutet und wie es definiert ist. Ein bekannter und sehr früher Kritiker der gesellschaftlichen Auswirkungen von KI, J. Weizenbaum, weigerte sich gar, den Begriff „Künstliche Intelligenz“ ohne Anführungszeichen zu verwenden, und auch (Ullrich and Messerschmidt, 2024) verwenden ihn nur in Großschreibung und unter Vorbehalt¹². Historisch tritt der Begriff in den 1950er Jahren zum ersten Mal auf, und zwar in einem Forschungsantrag für das „Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence“ (McCarthy et al., 1955). Dieser Antrag gilt als Geburtsstunde des Forschungsgebietes der Künstlichen Intelligenz.

¹⁰ Es gibt auch eine Erklärung von 25 Fields-Medaillisten vom 11. September 2026, bei der davor gewarnt wird, dass die kommerziellen Interessen der KI-Firmen die Mathematik gefährden: "The goals of the AI companies and the goals of the mathematical community are severely misaligned. We see these as part of broader alignment issues impacting other scientific and creative professions, as well as the whole of society". Es geht also um einen Widerspruch zwischen gesellschaftlichen Zielsetzungen und den privaten Profitinteressen einzelner Firmen, was eines der Kernargumente für eine Demokratisierung der Wirtschaft ist. Weiter unten in der Erklärung heißt es dann: "AI offers the potential of enhancing and accelerating genuine mathematical study and understanding. Mathematics as a profession will need to adapt to these changes in several ways. However, whether these changes ultimately benefit the field or have a destructive effect will in large part be determined by the decisions of the humans in control of this new technology". Es geht also darum, wer die KI-Technologie kontrolliert und mit welchem Interesse sie eingesetzt wird - wie (Kasy, 2025) und (Rikap, 2026) plädieren wir für eine Demokratisierung von KI, um sie für gesellschaftlich sinnvolle Ziele einzusetzen, nicht für eine Abschaffung (siehe unten).

¹¹ OpenAI hat auch einen Beweis eines der sogenannten „Millenium-Probleme“ der Mathematik (Clay Institute, 2000) vorgelegt (OpenAI, 2026). Es geht dabei um die „Navier-Stokes Gleichung“, das in der Sprache "Lean" formal verifiziert wurde, die Überprüfung durch das Clay Institute steht aber noch aus. Zudem wird das Verfahren durch Plagiats- und Fairnessvorwürfe überschattet (unter anderem geht es darum, ob möglicherweise unveröffentlichte Ideen aus den Trainingsdaten verwendet wurden).

¹² In (Ullrich and Messerschmidt, 2024) ist auch der Verweis auf das Zitat von J. Weizenbaum und eine kurze Erläuterung seiner KI-Einschätzung zu finden.

Katharina Zweig¹³, Informatik-Professorin und Autorin des allgemeinverständlich geschriebenen Buches „Weiß die KI, dass sie nichts weiß?“ (Zweig, 2025) gibt zu bedenken, dass eigentlich jedes Wort, das im Zusammenhang mit dem Computer verwendet wird, und menschliche Tätigkeiten wie ~lernen, ~verstehen, und auch ~Intelligenz, explizit gekennzeichnet sein sollte (in diesem Fall durch ein vorangestelltes „Tilde“-Zeichen), um den Unterschied in der Bedeutung deutlich zu machen. Also z.B. „ein Mensch denkt nach“, und „ein Computer/die KI ~denkt nach“. Im Interesse einer besseren Lesbarkeit wird darauf im Weiteren verzichtet, aber der Ansatz ist wertvoll, schon allein um begrifflich deutlich zu machen, dass künstliche Intelligenz (bzw. künstliche ~Intelligenz) etwas völlig anderes ist als menschliche Intelligenz, vgl. auch (Chollet, 2019).

In (Buchner, 2025b) am Anfang (S.2) wird die KI-Definition von Marvin Minsky wiedergegeben, die auch K. Zweig in Kapitel 3 (S. 24) zitiert:

„KI ist die Wissenschaft über das Ertüchtigen von Maschinen, damit sie Dinge tun, die Intelligenz erforderten, wenn ein Mensch sie täte“¹⁴.

Das entscheidende hierbei ist, dass nicht der Computer/die Maschine selbst als „intelligent“ beschrieben wird, sondern nur „das Ergebnis“, die Intelligenz der KI wird also nur „durch die Tätigkeit“ definiert. Das schließt sehr viele Dinge ein, vom Taschenrechner über Schachcomputer bis hin zu Verfahren der Bild- und Spracherkennung z.B. zum Diktieren von Nachrichten oder dem Entsperren von Mobiltelefonen. Ein KI-Lehrbuch Anfang der 2000er Jahre hatte den sehr allgemeinen Titel „Künstliche Intelligenz. Strategien zur Lösung komplexer Probleme“ (Luger, 2002), und was in der Gesellschaft unter dem Begriff KI verstanden wird, ist auch einer zeitlichen Veränderung unterworfen und hängt vom historischen Kontext und der technischen Entwicklung ab¹⁵.

Es geht also bei der „Künstlichen Intelligenz“ in keiner Weise nur um Sprachmodelle, die den KI-Diskurs dominieren. Denn es gibt aktuell viel (berechtigte) Kritik an der Art und Weise, wie große Sprachmodelle (Large Language Models - LLMs) von Big-Tech-Firmen wie OpenAI, Google oder Meta eingesetzt werden. Eine differenzierte Einschätzung erfordert aber zunächst eine zumindest rudimentäre Betrachtung der technischen Grundlagen – insbesondere zu sogenannten „neuronalen Netzwerken“¹⁶. Große Sprachmodelle (LLMs) gehören zu den Anwendungen des „Deep Learning“, siehe z.B. (Bishop and Bishop, 2024). Deep Learning bezeichnet eine bestimmte Klasse von neuronalen Netzwerken, die schon sehr lange studiert werden und keine neue Entwicklung sind, siehe z.B. (Rojas, 1996), und zwar solche mit vielen („tiefen“) Schichten aus künstlichen Neuronen. Dabei sind Neuronale Netzwerke nur ein (aktuell sehr erfolgreicher) Ansatz von vielen Methoden des maschinellen Lernens. Und im For-

¹³ Sie war auch Mitgründerin von „AlgorithmWatch“ und Mitglied in der Enquete-Kommission des Bundestages zu KI als Sachverständige.

¹⁴ oder in anderen Worten etwas klarer formuliert, siehe (Zweig, 2025) S. 25: „KI ist die Wissenschaft, die Methoden entwickelt, mit denen Computer Aufgaben erledigen, für die ein Mensch Intelligenz benötigt“

¹⁵ Zweig weiter (S.26): „Tatsächlich ist es so, dass Menschen dazu neigen, immer nur das als Künstliche Intelligenz zu bezeichnen, von dem sie bisher dachten, es sei maschinell nicht umsetzbar – was wir als Künstliche Intelligenz bezeichnen, ist daher ein bewegliches Ziel. Taschenrechnerfunktionen sind geradezu ein Paradebeispiel dafür, dass eine Tätigkeit, die man für eine Intellektuelle hielt, jetzt als eine mechanische wahrgenommen wird“.

¹⁶ Zweig erläutert (S.31): „Bei den neuronalen Netzwerken gibt es verschiedene Aufbauten, die man als Architekturen bezeichnet. Wenn die Netzwerke besonders viele Schichten haben, nennt man ihre Anwendung auch Deep Learning. Auch dort gibt es viele Unterklassen, unter anderem die sogenannten Transformermodelle, auf denen die meisten modernen Sprachmodelle basieren“.

schaftsgebiet der KI als Teilgebiet der Informatik ist das maschinelle Lernen auch nur eine von mehreren Möglichkeiten, „um Computer zu ertüchtigen, Aufgaben zu erfüllen, die beim Menschen Intelligenz benötigen“ (laut der obigen KI-Definition von M. Minsky).

KI ist in keiner Weise ein Synonym für Sprachmodelle wie ChatGPT. Wenn diese mutmaßlich gemeint sind, aber allgemein über „KI“ gesprochen und geschrieben wird (z.B. in den Medien), kann das zu großer Verwirrung führen¹⁷. Denn allgemein gesprochen ist KI zunächst ein Forschungs- und Anwendungsgebiet der Informatik, also ein wissenschaftliches Teilgebiet der Informationswissenschaften. Gleichzeitig wird mit KI oft eine bestimmte Methode (wie LLMs) oder gar eine bestimmte (kommerzielle) Anwendung (wie ChatGPT oder Claude) bezeichnet. Es kommt zu Problemen, wenn im allgemeinen Sprachgebrauch, den Medien oder auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen über „KI“ ohne nähere Erläuterung gesprochen wird. Eine Differenzierung und Erläuterung dessen, was konkret mit „KI“ bezeichnet wird, ist insbesondere dann notwendig, wenn es darum geht, eine konsistente Position zu KI (und deren Ambivalenz) zu entwickeln.

B. Die Ambivalenz von KI

Neben den neuen Möglichkeiten durch KI gibt auch viel Kritik daran, wie KI durch die großen Technologie-Konzerne monopolisiert wird, exemplarisch (Blankertz and Engeler, 2026; Kasy, 2025; Rikap, 2026). Auch (Ullrich and Messerschmidt, 2024) werben für eine „kritische Alphabetisierung bzgl. KI für das Gemeinwohl“. Da an anderer Stelle schon sehr ausführlich die Kritikpunkte an der momentanen „real existierenden KI“ (i.e. großen Sprachmodellen betrieben von Big-Tech) ausgeführt wurde, erwähnen wir diese hier nur kurz. Auch in (Ullrich and Messerschmidt, 2024) geht es in den einzelnen Kapiteln um „kritische Perspektiven auf KI“ (Kapitel 2, u.a. ökologische, sozio-kulturelle und ethische Dimensionen insbesondere bzgl. der Trainingsdaten), und auch um „Hidden Patterns, Hidden Costs, Hidden Labor“ (Kapitel 3). Im Kapitel „Machine Learning and Critical Thinking“ beschreiben die Autoren die Ambivalenz des maschinellen Lernens¹⁸. Sie werben dafür, sich mit den Grundlagen der Informatik und KI zu befassen, gerade auch als Nicht-Informatiker*in, die sich für die Frage interessiert, welche Rolle die Informationstechnologie in unserer Gesellschaft spielen sollte¹⁹.

Für (Kasy, 2025) ist das zentrale Problem, dass im momentanen Wirtschaftssystem "profit-maximierende Firmen" die Ziele der KI-Entwicklung festlegen. Erst nach Festlegung dieser Ziele wird dann „optimiert“, es aber nötig, schon im ersten Schritt anzusetzen, und die Frage zu beantworten, was wann und zu welchem Zweck optimiert werden soll und in wessen Interesse das geschieht. Er gibt einige wichtige Beispiele, u.a. in Bezug auf KI-Algorithmen von Social-Media-Plattformen, siehe (Kasy, 2025), S. 12 und S.197. Wir stimmen zu, und sehen darin ein starkes Argument für die Demokratisierung der Wirtschaft, wofür KI-Methoden allerdings wiederum eine wichtige Rolle spielen können.

¹⁷ ebd. S. 33: KI „bezeichnet auf der einen Seite das wissenschaftliche Feld, in dem die Methoden entwickelt werden, verwirrenderweise aber auch die Methoden selbst und – im allgemeinen Sprachgebrauch – meistens die resultierende Software ebenfalls. In den Medien wird ChatGPT daher oft als „KI“ oder „die KI“ bezeichnet“.

¹⁸ siehe S. 13: „Machine learning is an incredibly powerful tool that can benefit fields from the natural sciences to the arts. (...) data, algorithms, and AI are either hailed as a panacea for all problems of human coexistence or seen as the main culprits of a “digital immaturity.” Both can be true at the same time “

¹⁹ weiter auf S. 13: “To be able to assess both potential and risk, we need a deep understanding of how data processing and algorithms work to enable a renewed exit from self-inflicted immaturity (...). All that is required is the willingness to understand things, which will enable us to better assess the role that IT currently and, more importantly, should play in our society.”

4. KI für Wirtschaftsplanung

Bei einer (zu) engen Definition von KI als „Große Sprachmodelle, betrieben von Big-Tech“ gibt es viele berechtigte Kritikpunkte. Wie oben beschrieben, ist dies aber nur ein kleiner Ausschnitt dessen, was unter dem Oberbegriff „Künstliche Intelligenz“ diskutiert wird. Eine andere und für demokratische Wirtschaftsplanung besonders relevante Beschreibung des „broad umbrella of AI“ gibt der Informatiker und KI-Experte Spyros Samothrakis, der sowohl zu demokratischer Planung und KI (Samothrakis, 2024, 2021) als auch zu aktuellen KI-Methoden wie KI-Agenten (Hughes et al., 2025) publiziert hat und somit fachlich einen guten Überblick über die volle Breite sämtlicher „KI-Methoden“ hat, siehe hierzu auch (Vodopivec et al., 2017)²⁰.

In (Samothrakis, 2024) beschäftigt er sich gleich zu Beginn mit der Geschichte der „computergestützten Wirtschaftsplanung“. Laut Samothrakis wurden historische Debatten und Vorschläge dazu „von Disziplinen wie Kybernetik, Spieltheorie, Optimierung, komplexen Systemen, maschinellem Lernen und Statistik inspiriert beziehungsweise berührten diese Felder“. Er stellt fest, dass sich die „aktuelle angewandte Forschung in diesen Disziplinen unter dem breiten Dach der künstlichen Intelligenz zusammenfassen lässt“ (Samothrakis, 2024), S.1. In diesem Licht betrachtet erscheint eine generelle „Ablehnung von KI“²¹ nicht überzeugend, insbesondere wenn ein Interesse an demokratischer Wirtschaftsplanung besteht²².

Das gilt insbesondere in Hinblick auf ökologische Fragen, da beispielsweise für das Schließen von Stoffkreisläufen in einer Kreislaufwirtschaft sehr komplexe Optimierungsprobleme gelöst werden müssen, um möglichst wenig „Primärressourcen“ zu verbrauchen. So ist KI sogar als „Schlüsseltechnologie für die Kreislaufwirtschaft“ bezeichnet worden (Buchner and Kluß, 2023), um alle anfallenden Daten über

²⁰ dort präsentiert er mit 2 Ko-Autoren einen einheitlichen Blick auf Planung, Suche und Lernen (a „unified view on planning, search and learning“), S.1

²¹ Natürlich sollte für jeden konkreten Anwendungsfall geprüft werden, ob das Problem wirklich nur mit KI-Methoden bearbeitet werden kann. Gerade im Hinblick auf große Sprachmodelle und deren Ressourcenverbrauch stellt sich dann die sehr konkrete und „technische“ Frage, oder ob es evtl. eine „kleinere“ und ressourcenschonendere Lösung gibt. (Ullrich and Messerschmidt, 2024) schreiben hierzu: “It is evident that the consumption of natural and human resources can be morally and socially justified when AI is employed for the energy transition or in the circular economy. However, it is crucial to emphasize the added value of a particular AI system in such cases. Simple AI models, such as decision trees and even plain statistical methods, often yield comparable or even superior results with considerably less effort than deep neural networks featuring count-less hidden layers” (S. 18).

²² Dies ist u.a. im Buch (Blankertz and Engeler, 2026) der Fall, die dem Thema „Digitaler Postkapitalismus“ lobenswerterweise ein eigenes Kapitel widmen und dort auch über Modelle demokratischer Wirtschaftsplanung als Zukunftsoption diskutieren. Das Buch leistet einen wertvollen Beitrag zu digitalpolitischen Debatten, lehnt „KI“ (das nur in Anführungszeichen benutzt wird), grundsätzlich ab, aber gibt nur eine sehr grobe Definition dessen, was darunter verstanden wird, ebd., S.28: „... jene Technologien, die als ‚KI‘ beworben werden. ‚KI‘ basiert zumeist auf Deep Learning, einer Form maschineller Mustererkennung, die in ressourcen- und energieintensiven Rechenzentren riesige Mengen an zuvor arbeitsintensiv aufbereiteten Daten verarbeitet und dann auf neue Eingaben hin das wahrscheinlichste Ergebnis errechnet“. Im Kapitel 6 gibt es dann den Abschnitt „KI? – Nein danke!“, bei dem aber unklar bleibt, ob nur „Große Sprachmodelle von Big-Tech“ abgelehnt werden, oder generell „große Deep Learning Modelle“ oder gar „maschinelle Mustererkennung“ und „KI-Methoden“ in jeglicher Form. „AlphaFold“ wird zwar positiv erwähnt (S. 125), aber als „kleines, sehr spezifisches Beispiel“ relativiert, was angesichts der Relevanz von AlphaFold (u.a. durch den Chemie-Nobelpreis gewürdigt) und den KI-Erfolgen u.a. in den Naturwissenschaften und der Mathematik (siehe Anfang Kapitel 3) nicht angemessen erscheint.

den gesamten Lebenszyklus eines Produktes zu verarbeiten und eine möglichst ökologische „Kreislauf-führung“ der Rohstoffe zu ermöglichen. Laut (Prosper, 2025) kann KI, verantwortungsvoll eingesetzt, so dazu beitragen, Ressourcen zu sparen und die Produktlebensdauer zu erhöhen.

Wenn nicht der private Profit der einzelnen Unternehmen im Vordergrund steht, sondern dabei auch ökologische und soziale Kriterien direkt in die „multi-kriteriellen“ Entscheidungssysteme einfließen (Foramitti et al., 2026), bietet dies auch neue Chancen für die Organisation der Wirtschaft anhand von ökologischen Kriterien. Für solch eine „nachhaltige ökonomische Koordinierung“ (Zeug, 2026) wurden bereits detaillierte Modelle entwickelt, die offen sind für komplexe Modellierungen und den Einsatz von KI-Methoden.

A. „Cybernetic Democratic Economic Planning“ und KI

Die herausfordernde, aber aufgrund der durch den Kapitalismus verursachten Probleme alternativlos scheinende Aufgabe ist es, eine demokratische, ökologische Wirtschaft auf der „Höhe der Zeit“, also auf dem aktuellen Stand der Produktivkräfte und unter zu Hilfenahme der modernsten (sinnvoll einsetzbaren) verfügbaren Technologie zu entwerfen. Damit beschäftigt sich auch W. Zeug in seinem aktuellen Aufsatz (Zeug, 2026), in dem der Ansatz des „Cybernetic Democratic Economic Planning“ (CDEP) beschrieben wird. Er führt dazu aus:

“To address CDEP’s open questions and limitations, further qualitative discussion is necessary, but the dynamic complexity also calls for simulations (...). CDEP should²³ technically aim at the reinterpretation and application of existing and developing scientific methods and technologies (...), which essentially all involve a big-data problem and the emancipatory application of artificial intelligence and large language models (...)”

Es geht also um einen emanzipatorischen Einsatz von KI und großen Sprachmodellen für Wirtschaftsplanung, nicht um deren Abschaffung bzw. die Verweigerung der Nutzung²⁴ von KI im Postkapitalismus²⁵.

²³ In (Zeug, 2026) folgt hier eine Aufzählung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurden Doppelpunkt und Aufzählungszeichen entfernt, sonst wörtlich zitiert.

²⁴ (Kasy, 2025) schreibt hierzu (S. 16): „AI, in particular, might be used (...) automating away a range of occupations, while making its owners richer. Again, this is not destiny. How new technologies are used is a choice“, und auf S. 13: “the most important question for AI must be, Who gets to pick the objective?”. Es geht ihm also darum, wofür KI eingesetzt wird, was “kein Schicksal“ sei.

²⁵ (Blankertz and Engeler, 2026) S. 123: „Besonders bei ‚KI‘ kommt immer wieder die Frage auf, ob eine gesellschaftliche Linke sie nicht als produktives Werkzeug für emanzipatorische Zwecke nutzen könne und solle. Das halten wir aufgrund der von uns vorgeschlagenen Kriterien für völlig illusorisch. Dies gilt unter kapitalistischen Bedingungen, aber auch darüber hinaus“. Angesichts der in diesem Kapitel dargestellten Ansätze scheint hier eine zu enge Definition von KI als „große Sprachmodelle“ zugrunde zu liegen, und selbst dann gibt es wie hier nur exemplarisch dargestellt sinnvolle Einsatzmöglichkeiten. Zum Einsatz von KI unter den momentanen Bedingungen schreibt die Berliner Linkspartei im Wahlprogramm zur Wahl zum Abgeordnetenhaus (Linke, 2026): „Bei erkennbarem Nutzen für das Allgemeinwohl fördern wir für spezifische Bedarfe hoheitlich betriebene und auch trainierte KI-Modelle, um Abhängigkeiten von Großkonzernen zu minimieren sowie Datenschutz, Gute Arbeit und möglichst geringen Energieverbrauch zu ermöglichen.“, und weiter „Wir setzen die Entwicklung öffentlicher KI-Werkzeuge fort, sofern diese messbare Vorteile gegenüber regelbasierter Software bieten, andernfalls sollte gut nachnutzbare, modular aufgebaute Open-Source-Software entwickelt werden.“ (S. 258). Es stellt sich die Fragen, warum (Blankertz and Engeler, 2026) KI-Systeme also scheinbar selbst dann ablehnen, wenn diese einen “erkennbarem Nutzen für das Allgemeinwohl“ haben und “messbare Vorteile“ gegenüber anderen Lösungen bieten – oder ob generell bestritten wird, dass es diese Fälle gibt. Letzteres ist aber gut dokumentiert für eine

B. Ökonomische Planung, Innovationen und KI

In (Rochowicz, 2024) setzt sich der Autor mit der Frage auseinander, wie technologischer Fortschritt und Innovationen in Modelle für demokratische Wirtschaftsplanung einbezogen werden können. Bezugnehmend auf (Morozov, 2021) beschreibt (Rochowicz, 2024) eine Leerstelle, die in vielen bisherigen Modellen zu ökonomischer Planung in Bezug auf Innovation und dynamische Strukturveränderungen besteht.

Inspiziert durch Ideen von M. Mazzucato beschreibt er demokratisch beschlossene „Missionen“ für Innovation, bei deren Umsetzung und Beschleunigung Algorithmen (darunter auch KI-Methoden) eine wichtige Bedeutung haben, auch wenn sie den demokratische Diskurs und institutionelle Fragen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen können²⁶. Er führt dann weiter aus, wie maschinell unterstützte Entscheidungen solche „Missionen“ beschleunigen können²⁷. Dabei wird „Machine Learning“ und „AlphaFold“ explizit erwähnt als vielversprechende Technologie, um große kombinatorische Räume bzw. „viele Möglichkeiten“ zu durchsuchen. Und auch große Sprachmodelle können eine wichtige Rolle spielen, und sei es nur bei der Kommunikation mit KI-Systemen in natürlicher Sprache²⁸.

C. Kreislaufwirtschaft, KI und Wirtschaftsplanung

Es gibt darüberhinausgehend viele weitere Möglichkeiten und auch die Notwendigkeit, moderne Methoden der Informatik wie Big Data und KI zur ökologischen und demokratischen Wirtschaftsplanung einzusetzen, um die Komplexität moderner arbeitsteiliger Ökonomien beherrschbar und demokratisch steuerbar zu machen. Exemplarisch stellen wir einen Ansatz vor, der Methoden verwendet, die im Bereich der „Spielprogrammierung“ große Erfolge erzielt hat, und zwar des „Reinforcement Learning“ / der „Monte Carlo Tree Search“, etwa bei „AlphaZero“ (Silver et al., 2017), so wie dies in (Buchner, 2025b, 2025e) ausführlich beschrieben wurde.

Die Idee besteht darin, die Suche nach nachhaltigen Produktionswegen als ein Problem zu betrachten, das Ähnlichkeiten mit dem Suchbaum von Spielen wie Schach oder Go aufweist. Dabei werden, so wie dies in den Daten der „Lebenszyklusanalyse“ bereits angelegt ist, Produkte als aus verschiedenen „Vor-Produkten“ zusammengesetzte Objekte beschrieben. So entsteht ein rekursiver Baum, der die Zusammensetzung von Produkten bis hinunter auf die Ebene der Rohstoffe darstellt. Nun kann man sich fragen, welchen ökologischen Effekt die Ersetzung eines bestimmten „Vor-Produktes“ durch ein anderes hat (man denke z.B. an die Ersetzung eines bestimmten Kunststoffes durch ein Rezyklat, also durch recycelten Kunststoff, was zu deutlichen Einsparungen von Primärressourcen führen kann). In einer

große Breite an Anwendungsgebieten, auch und gerade in Bezug auf Nachhaltigkeit, siehe z.B. die Projekte der sog. „KI-Leuchttürme für Umweltschutz“ (ZUG, 2026), die, um förderungsfähig zu sein, einen konkreten Nutzen für die Umwelt und eine insgesamt positive Ökobilanz vorweisen mussten (also inkl. der Ressourcen für die KI-Nutzung). Für Kreislaufwirtschaft siehe ausführlich (Prosper, 2025).

²⁶ „To decide on the mission, democratic discourse and decisions can be aided and accelerated by algorithms, however, ultimately the very nature of discourse limits the appropriate applications of algorithms. Similarly, institutional questions cannot be fully circumvented through algorithmic governance.“ (S.75)

²⁷ „The first area where machine-aided decisions can accelerate missions is in matching the problem definition from the mission statement to the possible solution space. (...) searching large combinatorial spaces is exactly what machine learning has demonstrated promise in (think of AlphaFold).“ (S.75)

²⁸ „Given the input of the mission statement (still in natural language form), the machine could recommend a list of solutions it predicts to be both feasible technologically and helpful to solving the mission“ (S.75).

Wirtschaft mit vielen solcher möglichen „Vorprodukt-Ersetzungen“ entsteht ein sehr großer Möglichkeitsraum: Jede Ersetzung kann als eine Art „Zug“ in einem Spiel einer kreislauffähigen und nachhaltigen Wirtschaft verstanden werden, bei der das Ziel ist, eine möglichst gute „Gesamt-Ökobilanz“ zu erzielen.

Für eine genauere Beschreibung dieser Methode verweisen wir auf (Buchner, 2025b, 2025e). Ziel ist die Entwicklung eines KI-gestützten Planungswerkzeuges „AlphaPlanning“ für eine demokratisch geplante Kreislaufwirtschaft (in Analogie zu „AlphaZero“ und „AlphaFold“).

D. Das strategische Viereck für KI und Postkapitalismus

Wie gerade beschrieben, können KI-Methoden also eine zentrale Rolle für ökologische und demokratische Wirtschaftsplanung spielen, in dem sie beispielsweise dazu beitragen, Stoffkreisläufe zu schließen und eine echte Kreislaufwirtschaft erst zu ermöglichen. Das zeigt die Ambivalenz von „KI“ in Bezug auf Nachhaltigkeit – diese wurde mit einem „strategischen Dreieck bzgl. KI und Nachhaltigkeit“ beschrieben (Buchner, 2025b, 2025c). Denn für den Übergang zu einem postkapitalistischen Wirtschaftssystem lassen sich drei strategische Aspekte unterscheiden. Der erste besteht im Protest dagegen, wie der Kapitalismus KI nutzt, also im Protest gegen „Big Tech KI“ wie sie in der kapitalistischen Realität existiert und genutzt wird. Der zweite Aspekt ist die Abmilderung der schlimmsten Folgen kapitalistischer KI durch Regulierung von Big Tech, etwa im Geiste eines stark erweiterten EU „AI Acts“ (EU-Kommission, 2026). Der dritte Aspekt besteht in der Nutzung des Potenzials von KI für den Übergang zu einer postkapitalistischen Wirtschaft. Die Komplexität der Koordination von Produktion legt nahe, hierfür die jeweils neuesten verfügbaren technologischen Möglichkeiten einzusetzen.

Um auf dieses Wissen zurückgreifen zu können ist es wichtig, dass sich auch Menschen aus dem MINT-Bereich, also aus Mathematik, Ingenieurwesen, Naturwissenschaften und Technik, aktiv an der Debatte über ein demokratisches Wirtschaftssystem beteiligen und ihre Kompetenzen und Perspektiven einbringen²⁹. Daraus ergibt sich dann die Erweiterung des strategischen Dreiecks zu einem „strategischen Viereck für KI und Postkapitalismus“, in dem neben Protest, Regulierung und der Nutzung des Potenzials von KI für eine demokratische Wirtschaft auch der Austausch mit und die Anwerbung von MINT-kompetenten demokratischen Wirtschaftsplanerinnen und Wirtschaftsplanern steht³⁰. Dies gilt ebenfalls für die ersten beiden Elemente der „kritischen mathematischen Ökonomie“, auch hier kann MINT wertvolle Kompetenzen einbringen, um bestehende Wirtschaftsmodelle kritisch zu hinterfragen und neue zu entwickeln³¹.

²⁹ Natürlich sind die „technologischen Fragen“ nicht die einzigen (und wahrscheinlich auch nicht die wichtigsten) in Bezug auf Planung, es gibt z.B. Ansätze für eine demokratische Planung der „Care-Arbeit“ (Sorg & Herb, 2026; Zeug & Lutosch, 2025) und viele weitere. Eine Ignoranz der technologischen Herausforderungen ist jedoch nicht geboten, schon allein zur Plausibilisierung.

³⁰ In (Phillips and Rozworski, 2019) wird darauf am Ende auch hingewiesen.

³¹ Vgl. auch den Appell von Steven Keen hierzu in (Keen, 2011) am Ende.

5. Fazit: Notwendigkeit einer kritischer mathematischer Ökonomie

In diesem Artikel haben wir das Forschungsprogramm einer „kritischen mathematischen Ökonomie“ dargestellt, insbesondere mit Blick auf die fragwürdigen Modellierungen der ökonomischen Schäden durch den Klimawandel mit Gleichgewichts-Modellen. Ein erster Teil hat sich genauer mit der Frage beschäftigt, wie die „Sonnenschen-Mantel-Debreu“-Theoreme in diesem Kontext zu bewerten sind. Im zweiten Teil des Artikels ging es um die Notwendigkeit einer ökologischen und demokratischen Wirtschaftsplanung und die Frage, wie moderne Methoden aus der Informatik wie KI dabei helfen können. Nach einer Begriffsklärung zum Thema KI wurde erläutert, wie KI-Methoden zur Wirtschaftsplanung eingesetzt werden können, und wie sich die Ambivalenz von KI in Bezug auf Postkapitalismus (und Nachhaltigkeit) als „strategisches Viereck“ darstellen lässt.

6. Ausblick: Interdisziplinäre Forschung zu Postkapitalismus

Eine interdisziplinäre Forschungsperspektive ist notwendig, um echte Nachhaltigkeit³² im Wirtschaftssystem zu erreichen und zugleich die Komplexität demokratischer Wirtschaftsplanung zu bewältigen. Ein solcher Ansatz verbindet Mathematik und Informatik mit Sozial- und Nachhaltigkeitswissenschaften sowie Ökonomie. Wir schlagen die Etablierung eines interdisziplinären Forschungsansatzes vor, der u.a. in den Arbeiten (Buchner, 2025e, 2025a, 2025c) begonnen wurde.

Aus den dargestellten Überlegungen ergeben sich mehrere konkrete Forschungsideen. Erstens stellt sich die Frage nach einer konkret implementierten Verbindung von Reinforcement Learning und Lebenszyklusanalyse für eine Kreislaufwirtschaft und damit nach der Entwicklung eines „AlphaPlanning“ (in Analogie zu „AlphaZero“ oder „AlphaFold“). Zweitens schlagen wir vor, weitere Methoden aus der Komplexitätsökonomie für den Planungsdiskurs und konkrete Simulationen nutzbar zu machen, so z.B. aus der statistischen Physik für agentenbasierte Modelle (Grasselli and Li, 2018, 2017). Drittens ist genauer zu untersuchen, wie Planung, künstliche Intelligenz und Innovation verbunden werden können (Rikap, 2026; Rochowicz, 2024)³³. Diese Forschungsperspektiven verstehen sich zugleich als Einladung zu interdisziplinärer Zusammenarbeit, gerade auch an Mathematiker*innen, die angesichts der KI-Erfolge in der eigenen Disziplin möglicherweise nach neuen Tätigkeitsfeldern suchen.

³² Es gibt in diesem Kontext auch den Begriff der „absoluten Nachhaltigkeit“, der die Einhaltung der planetaren Grenzen als „absolute Obergrenze“ einfordert, siehe z.B. (Buchner, 2025e; Zeug, 2026) und die dort genannten Referenzen.

³³ auch mit der Perspektive, eine Institution zu schaffen, in der Forschung an postkapitalistischen Ökonomien möglich wird, ähnlich wie das in (Rikap, 2026) für die Entwicklung von offenen KI-Modellen angedacht wird (S.226)

Literatur

- Alon, N., Bloom, T.F., Gowers, W.T., Litt, D., Sawin, W., Shankar, A., Tsimmerman, J., Wang, V., Wood, M.M., 2026. Remarks on the disproof of the unit distance conjecture. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2605.20695>
- Benanav, A., 2026. A real political economy of technology. URL <https://www.theideasletter.org/essay/a-real-political-economy-of-technology/> (accessed 9.9.26).
- Bishop, C.M., Bishop, H., 2024. Deep learning: foundations and concepts. Springer, Cham.
- Blankertz, A., Engeler, M., 2026. Digitale Solidarität: zur Überwindung kapitalistischer Technologie, 1. Auflage. ed, Analyse. Dietz Vlg Bln, Berlin.
- Bolker, B.M., Grasselli, M.R., Holmes, E., 2021. Short Communication: Sensitivity Analysis of an Integrated Climate-Economic Model. SIAM J. Finan. Math. 12, SC44–SC57. <https://doi.org/10.1137/21M1404120>
- Buchner, J., 2025a. Critical Mathematical Economics and Progressive Data Science. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.06015>
- Buchner, J., 2025b. Reinforcement Learning and Life Cycle Assessment for a Circular Economy – Towards Absolute Sustainability. https://doi.org/10.18420/INF2025_154
- Buchner, J., 2025c. Strategic Triangle of AI for Ecological Economic Planning in a Circular Economy. INDEP - Network for Democratic Economic Planning.
- Buchner, J., 2025d. An Analysis of Pseudo-Goodwin Cycles in a Wage-Led Minsky Model. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.23513>
- Buchner, J., 2025e. Rotated bitboards and Reinforcement Learning in Computer Chess and Beyond - Towards Absolute Sustainability and Progressive Computer Science. https://doi.org/10.18420/ENV2025_2
- Buchner, J., Kluß, T., 2023. Digitale Produktdaten und KI als Schlüsseltechnologien für die Kreislaufwirtschaft. URL <https://www.z-u-g.org/meldungen/digitale-produktdaten-und-ki-als-schluesselfuer-die-kreislaufwirtschaft/>
- Chollet, F., 2019. On the Measure of Intelligence. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.01547>
- Clay Institute, 2000. Millenium Probleme der Mathematik. URL <https://www.claymath.org/millennium-problems/>
- Colander, D., Goldberg, M., Haas, A., Juselius, K., Kirman, A., Lux, T., Sloth, B., 2009. THE FINANCIAL CRISIS AND THE SYSTEMIC FAILURE OF THE ECONOMICS PROFESSION. Critical Review 21, 249–267. <https://doi.org/10.1080/08913810902934109>
- Debreu, G., 1974. Excess demand functions. Journal of Mathematical Economics 1, 15–21. [https://doi.org/10.1016/0304-4068\(74\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0304-4068(74)90032-9)
- DMV-Blog, 2026. URL <https://www.mathematik.de/dmv-blog/5332-ki-widerlegt-87-jahre-alte-jacobi-vermutung>
- Durand, C., Hofferberth, E., Schmelzer, M., 2023. Planning Beyond Growth the Case for Economic Democracy within Ecological Limits. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4457481>
- Durand, C., Keucheyan, R., 2026. Das Prinzip der Verzweigung: über ökologische Planung in Wirtschaft und Gesellschaft, 1. Auflage. ed, Analysen. Dietz, Berlin.
- EU-Kommission, 2026. EU AI Act. URL <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

- Foramitti, J., Pendergrass, D., Zeug, W., Heyer, J., 2026. Beyond prices: multi-criteria signals for a social-ecological transformation.
- Grasselli, M., Li, P., 2018. A stock-flow consistent macroeconomic model with heterogeneous agents: the master equation approach. *JNTF* 4, 47–87. <https://doi.org/10.21314/JNTF.2018.042>
- Grasselli, M.R., Buchner, J., 2026. Here we go again: The misuse of models and the looming climate crisis. *IMA Journal of Management Mathematics*, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpag032>
- Grasselli, M.R., Costa Lima, B., 2012. An analysis of the Keen model for credit expansion, asset price bubbles and financial fragility. *Math Finan Econ* 6, 191–210. <https://doi.org/10.1007/s11579-012-0071-8>
- Grasselli, M.R., Li, P.X., 2017. A mean-field approximation to stock-flow consistent agent-based models with state-dependent transition rates. *j coupled syst multiscale dyn* 5, 177–196. <https://doi.org/10.1166/jcsmd.2017.1128>
- Grasselli, M.R., Maheshwari, A., 2018. Testing a Goodwin model with general capital accumulation rate. *Metroeconomica* 69, 619–643. <https://doi.org/10.1111/meca.12204>
- Groos, J., 2021. Distributed planned economies in the age of their technical feasibility. <https://doi.org/10.6094/BEHEMOTH.2021.14.2.1061>
- Groos, J., Sorg, C. (Eds.), 2025. *Creative Construction: Democratic Planning in the 21st Century and Beyond*, 1st ed. Policy Press. <https://doi.org/10.1332/policypress/9781529235128.001.0001>
- Gurevich, P., 2018. *Patterns of Dynamics*: Berlin, July 2016, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics Ser. Springer, Cham.
- Heise-News, 2026. Neue Gaskraftwerke für KI: Enormer CO2-Anstieg befürchtet, 19.8.2026.
- Hughes, L., Dwivedi, Y.K., Malik, T., Shawosh, M., Albashrawi, M.A., Jeon, I., Dutot, V., Appanderanda, M., Crick, T., De', R., Fenwick, M., Gunaratnege, S.M., Jurcys, P., Kar, A.K., Kshetri, N., Li, K., Mutasa, S., Samothrakakis, S., Wade, M., Walton, P., 2025. AI Agents and Agentic Systems: A Multi-Expert Analysis. *Journal of Computer Information Systems* 65, 489–517. <https://doi.org/10.1080/08874417.2025.2483832>
- Kasy, M., 2025. *The means of prediction: how AI really works (and who benefits)*. The University of Chicago Press, Chicago London.
- Keen, S., 2021. The appallingly bad neoclassical economics of climate change. *Globalizations* 18, 1149–1177. <https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1807856>
- Keen, S., 2011. *Debunking economics: the naked emperor dethroned?*, Revised and expanded edition. ed. Zed Books, London New York.
- Keen, S., Lenton, T.M., Garrett, T.J., Rae, J.W.B., Hanley, B.P., Grasselli, M., 2022. Estimates of economic and environmental damages from tipping points cannot be reconciled with the scientific literature. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 119, e2117308119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2117308119>
- Keen, S., Lenton, T.M., Godin, A., Yilmaz, D., Grasselli, M., Garrett, T.J., 2021. Economists' erroneous estimates of damages from climate change. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.07847>
- King, J.E., 2012. *The microfoundations delusion: metaphor and dogma in the history of macroeconomics*. Edward Elgar, Cheltenham ; Northampton, MA.
- Klimesch, J., Arlt, S., Ruiz-Gonzalez, C., Rodríguez, C., Gu, X., Haslinger, P., Vischia, P., Haack, C., Drori, Y., Adhikari, R., Arndt, M., Kagan, M., Heinrich, L., Krenn, M., 2026. Designing physics experiments with artificial intelligence. *Nature* 657, 47–58. <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10898-6>

- Linke, 2026. Wahlprogramm zur Wahl zum Abgeordnetenhaus. URL https://dielinke.berlin/fileadmin/download/2026/Wahlprogramm_AGH_2026_Die_Linke_Berlin.pdf
- Luger, G.F., 2002. Künstliche Intelligenz, 4. Aufl. ed. Pearson Studium, München.
- Mantel, R.R., 1974. On the characterization of aggregate excess demand. *Journal of Economic Theory* 7, 348–353. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(74\)90100-8](https://doi.org/10.1016/0022-0531(74)90100-8)
- Mas-Colell, A., 1985. *The Theory of General Economic Equilibrium: A Differentiable Approach*, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CCOL0521265142>
- McCarthy, J., Marvin, M., Nathaniel, R., Shannon, C., 1955. Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. URL <https://ojs.aaai.org/aimagazine/index.php/aimagazine/article/view/1904>
- Moll, B., 2026. The Trouble with Rational Expectations in Heterogeneous Agent Models: A Challenge for Macroeconomics. *The Economic Journal* 136, 1173–1216. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaf104>
- Morozov, E., 2025. Socialism after AI.
- Morozov, E., 2021. *Beyond Competition: Alternative Discovery Procedures & The Postcapitalist Public Sphere*.
- Naphtali, F., Kuda, R., 1977. *Wirtschaftsdemokratie: ihr Wesen, Weg und Ziel*, 4., mit einer neuen Einf. versehene Aufl. ed, Basis-Studienausgaben. Europaeische Verlagsanstalt, Köln.
- OpenAI, 2026. On the Navier–Stokes Millennium Prize Problem. URL <https://openai.com/index/navier-stokes-solution/>
- Phillips, L., Rozworski, M., 2019. *The People’s Republic of Walmart: how the world’s biggest corporations are laying the foundation for socialism*, Jacobin series. Verso, London New York.
- PIK, 2026. Kippelemente – Großrisiken im Erdsystem. URL <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/kippelemente/kippelemente>
- Prosper, K., 2025. Künstliche Intelligenz für die Circular Economy?
- Reeves, A., Adaman, F., Tremblay-Pepin, S., Buchner, J., Hofferberth, E., Zeug, W., 2026. The need for a Democratic Economic Planning Vision in Macroeconomic Modelling: A Research Agenda for Modelling Alternative Futures.
- Rikap, C., 2026. *The rulers: corporate power in the age of AI and the cloud*. Verso, London.
- Rochowicz, N., 2024. Planning progress: Incorporating innovation and structural change into models of economic planning. *Competition & Change* 29, 64–82. <https://doi.org/10.1177/10245294231220690>
- Rojas, R., 1996. *Theorie der neuronalen Netze: eine systematische Einführung*, 4., korrigierter Nachdr. ed, Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin Heidelberg.
- Samothrakis, S., 2024. Artificial intelligence and modern planned economies: a discussion on methods and institutions. *AI & Soc* 39, 2961–2972. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01826-7>
- Samothrakis, S., 2021. Artificial Intelligence inspired methods for the allocation of common goods and services. *PLoS ONE* 16, e0257399. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257399>
- Šik, O., 1979. *Humane Wirtschaftsdemokratie: ein dritter Weg*, 1.-7. Tsd. ed. Knaus, Hamburg.
- Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., Lanctot, M., Sifre, L., Kumaran, D., Graepel, T., Lillicrap, T., Simonyan, K., Hassabis, D., 2017. *Mastering Chess and Shogi by Self-*

- Play with a General Reinforcement Learning Algorithm.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.01815>
- Smale, 1999. Liste der Smale-Probleme. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Smale-Probleme>
- Sonnenschein, H., 1973. Do Walras' identity and continuity characterize the class of community excess demand functions? *Journal of Economic Theory* 6, 345–354. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(73\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0022-0531(73)90066-5)
- Sonnenschein, H., 1972. Market Excess Demand Functions. *Econometrica* 40, 549. <https://doi.org/10.2307/1913184>
- Sorg, C., 2025. Finance as a form of economic planning. *Competition & Change* 29, 17–37. <https://doi.org/10.1177/10245294231217578>
- Sorg, C., Groos, J., 2025. Rethinking economic planning. *Competition & Change* 29, 3–16. <https://doi.org/10.1177/10245294241273954>
- Spiegel, 2026. KI-Kapitalismus. URL <https://www.spiegel.de/wirtschaft/kuenstliche-intelligenz-killt-kiden-kapitalismus-a-56ab0493-30a5-45e2-a2fc-226357d1de60>
- Stockhammer, E., Michell, J., 2017. Pseudo-Goodwin cycles in a Minsky model. *CAMECO* 41, 105–125. <https://doi.org/10.1093/cje/bew008>
- Tutzing-Tagung, 2026. URL <https://www.eatutzing.de/veranstaltung/was-kann-der-markt-was-kann-die-planung/#event-programm>
- Ullrich, S., Messerschmidt, R., 2024. AI Literacy for the Common Good. *Weizenbaum Journal of the Digital Society* 4. <https://doi.org/10.34669/WI.WJDS/4.1.5>
- Vodopivec, T., Samothrakis, S., Ster, B., 2017. On Monte Carlo Tree Search and Reinforcement Learning. *jair* 60, 881–936. <https://doi.org/10.1613/jair.5507>
- Zeug, W., 2026. Cybernetic Democratic Economic Planning for Sustainable Economic Coordination. (forthcoming)
- ZUG, 2026. KI-Leuchttürme für Umweltschutz. URL <https://www.z-u-g.org/foerderung/ki-leuchttuerme-fuer-umwelt-klima-natur-und-ressourcen/>
- Zweig, K.A., 2025. Weiß die KI, dass sie nichts weiß? Wofür wir Chatbots und KI-Agenten nutzen sollten, wo sie sich irren und wo wir aufpassen müssen: ChatGPT und Co. einfach erklärt, Originalausgabe. ed. Heyne, München.

Impressum

Herausgeber:

ZNWU

Zentrum für Nachhaltige Wirtschafts- und
Unternehmenspolitik

Hochschule Darmstadt, Fachbereich Wirt-
schaft

Schöfferstraße 38

64283 Darmstadt

www.znwu.de

Tel. +49.6151.16.38.384

Fax +49.6151.16.38.399

Email: znwu.fbw@hda.de

Darmstadt, September 2026

