



MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN MAGNETISCHER MODELLE IN DER ÖKONOMIE

Rüdiger Klingeler

Auszug aus dem Jahresbericht
2016 / 2017 des Marsilius-Kollegs





MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN MAGNETISCHER MODELLE IN DER ÖKONOMIE

Wie lassen sich elementare Zusammenhänge und Veränderungen in komplexen ökonomischen Systemen beschreiben und verstehen? Um dieser Frage nachzugehen, verwenden die Wirtschaftswissenschaften u.a. das Modell des Homo oeconomicus, eines rational handelnden Akteurs, der mit anderen Marktteilnehmern kommunizieren und dabei äußeren Einflüssen ausgesetzt sein kann. Auf einer grundsätzlichen Ebene lässt sich dieses Modell mit magnetischen Festkörpern vergleichen, in denen die einzelnen Atome lokale (magnetische) Eigenschaften besitzen – z.B. die Richtung eines lokalen paramagnetischen Momentes bzw. eines „Spins“ – die miteinander magnetisch wechselwirken (kommunizieren) und dabei äußeren Einflüssen (z.B. Magnetfeldern) ausgesetzt sein können. Das bekannte Modell eines Ferromagneten aus gleichgerichteten Vektorpfeilen, welche einzelne elektronische magnetische Momente repräsentieren, illustriert ein solches magnetisches System wechselwirkender atomarer magnetischer Momente. In einem ökonomischen System könnte jeder dieser Vektorpfeile durch seine Richtung die Eigenschaften, Meinungen oder Entscheidungen eines Akteurs in einem Netzwerk widerspiegeln. Im Vergleich zu ökonomischen Systemen sind die betrachteten physikalischen Systeme mit oftmals ca. 10^{22} Atomen pro cm^3 aber sehr viel größer und stellen dementsprechend eigene Herausforderungen an die statistische Physik solcher „Vielteilchensysteme“ dar.¹ In beiden Modellen – dem der miteinander kommunizierenden ökonomischen Akteure sowie der wechselwirkenden Spins in magnetischen Festkörpern – werden lokale Eigenschaften – die Entscheidung eines Marktteilnehmers oder ein atomares paramagnetisches Moment – betrachtet, die durch Interaktionen bzw. Wechselwirkungen miteinander verknüpft sind und komplexe Systeme bilden.



Diese Ähnlichkeiten auf der Modellebene haben dazu geführt, dass Modelle der statistischen Physik mindestens seit Mitte des letzten Jahrhunderts auf ökonomische Problemstellungen angewendet werden. Dabei haben sich insbesondere solche Modelle als erfolgreich erwiesen, die zur Beschreibung des physikalischen Phänomens des Magnetismus entwickelt wurden. Ein wichtiges Beispiel ist das Ising-Modell², welches um 1924 zur mikroskopischen Beschreibung des Ferromagnetismus entwickelt und seitdem nicht nur auf unzählige Probleme der statistischen Physik angewendet wurde, sondern auch auf so unterschiedliche komplexe Systeme wie soziale Netzwerke, Waldbrände und Epidemien, Sprachenwandel oder urbane Segregation.³ Die Ursprünge der zugrundeliegenden Modelle lassen sich z.B. daran ablesen, dass sich die Zustimmung zu einer bestimmten Meinung oder auch eine Wahlentscheidung in Form einer „Magnetisierung“ ablesen lassen, die analog zur physikalischen Magnetisierung eines Festkörpers als Summe aller lokalen Momente (d.h. als Summe aller durch die Spinrichtung kodierten Meinungen der Akteure) definiert ist.⁴ Während in vielen Gebieten der Soziologie und der Ökonomie die Anwendung ursprünglich zur Beschreibung komplexer magnetischer Systeme ent-

wickelter physikalischer Modelle wohletabliert ist und dezidiert interdisziplinäre Aspekte nicht mehr im Vordergrund stehen, gilt dies für Fragestellungen bezüglich makroökonomischer Konjunkturzyklen nur bedingt. Zusammen mit Zeno Enders vom Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften bin ich daher während des Marsilius-Jahres 2016/17 der Frage nachgegangen, inwiefern moderne Entwicklungen im Bereich des Magnetismus für volkswirtschaftliche Fragestellungen nutzbar gemacht werden können. Als eine konkrete Fragestellung haben wir dabei die Ausbreitung von Optimismus in Deutschland betrachtet, die auch bereits Gegenstand der bisherigen Forschung von Zeno Enders ist.

Einige der Ergebnisse unseres gemeinsamen Projektes zu konkreten volkswirtschaftlichen Daten fasst Zeno Enders in seinem Beitrag im diesjährigen Marsilius-Jahrbuch zusammen. Ich möchte im Gegensatz dazu aus der Perspektive der Physik beschreiben, welche Parallelen zwischen Magnetismus und Ökonomie wir betrachtet haben und welche neuen Aspekte zur Modellbildung sich aus den Diskussionen mit der Fellow-Klasse und dem Vortrag von Rudi Schäfer („Econophysics - A data-driven approach“) ergeben haben. Auch die Einordnung ökonomischer Weltmodelle aus der historischen Perspektive durch Elke Seefried im Rahmen der Marsilius-Vorlesung 2017 „Zukünfte. Eine Geschichte der Zukunftsforschung seit 1945“⁵ hat neue Aspekte in unser Projekt eingebracht. Insbesondere wurde durch beide Vorträge die Frage angestoßen, ob exogene Schocks, d.h. die plötzliche Veränderung äußerer Einflussfaktoren, zwingend einzubeziehen sind, um die betrachteten komplexen Veränderungen vollständig zu beschreiben, oder ob paradigmatische Veränderungen bereits aus den zugrundeliegenden Modellen abgeleitet werden können. Der Vergleich zu physikalischen kritischen Phänomenen und Phasenübergängen und die Auswertung der Zunahme von Fluktuationen als Hinweis auf sich abzeichnende Veränderungen, wie sie Rudi Schäfer für Finanzmärkte diskutiert hat, wäre ein naheliegender, aber weiterführendes Projekt.⁶

Als konkrete erste Fragestellung haben wir untersucht, ob dynamische Prozesse in Volkswirtschaften wie die Reaktion auf neue Informationen und die Entstehung und Ausbreitung von „Stimmungswellen“ mit ähnlichen Modellen beschreibbar sind wie Ummagnetisierungsprozesse und die Dynamik in magnetischen Systemen. Während mikromagnetische Systeme in vielen Aspekten bereits sehr gut verstanden sind, ist hingegen bereits die Messung von Stimmungswellen und die Frage, ob sie modellinhärent sind oder es zu ihrer Beschreibung äußerer Einflüsse bedarf, ein aktueller

Forschungsgegenstand der Ökonomie.⁷ Als weitere Fragestellungen haben wir diskutiert, ob geometrisch frustrierte Spinsysteme⁸ zur Beschreibung konkurrierender äußerer Einflüsse auf miteinander vernetzte ökonomische Akteure eingesetzt werden können. Zudem sind wir den Fragen nachgegangen, ob nanoskalige Superparamagnete als Modelle abgeschotteter Gruppen von Akteuren dienen können und ob ein ggf. erratisches bzw. stochastisches Verhalten von grundsätzlich als rational angenommenen Akteuren durch die Einbeziehung von Quantenfluktuationen in die zugrundeliegenden Modelle simuliert werden kann.^{9,10}

In einem Marsilius-Projekt wie dem Vorliegenden stellt sich in besonderer Weise die Frage nach „echter“ Interdisziplinarität, da die fächerübergreifende Anwendung ursprünglich physikalischer Modelle auf sozioökonomische Fragen in vielen Fällen bereits in den Kanon der fachspezifischen Methoden aufgenommen wurde. Die Anwendung physikalischer Konzepte und Methoden auf soziologische und ökonomische Fragestellungen reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück und ist heute unter den Begriffen *Sociophysics*¹¹ und *Econophysics*¹² etabliert. Dabei werden nahezu ausschließlich klassische statistische Modelle betrachtet. Mit der Untersuchung neuer Aspekte wie Frustration oder Quantenfluktuationen geht unser Projekt über die etablierte *Socio-* und *Econophysics* hinaus und weist dabei eine auch über den reinen „Bückenschlag über den Neckar“ hinausgehende interdisziplinäre Grundlage auf.

Die Beschreibung kollektiven menschlichen Verhaltens durch physikalische Modelle wird in der Literatur kontrovers diskutiert und wurde auch in den Marsilius-Seminaren hinterfragt. Hier formuliert sich ein Gegensatz zwischen der mit all ihren Einschränkungen freien Entscheidung des selbstbestimmten Individuums und den Vorhersagen naturwissenschaftlicher Modelle über gesellschaftliche Kollektive: „*Do humans behave much like atoms?*“¹³ Aus Sicht unseres Projektes wäre diese Frage dahingehend umzuformulieren, ob die angewendeten Modelle die Beobachtungen einerseits adäquat beschreiben und sich andererseits Eigenschaften, Zusammenhänge usw. der untersuchten ökonomischen Systeme ableiten lassen.¹⁴ Interessanterweise konzentriert sich die Kritik eher auf ökonomische Modelle und weniger auf Beispiele wie die Modellierung von Verkehrsflüssen auf Autobahnen oder das Verhalten von Menschenmengen bei Panik, bei denen möglicherweise den einzelnen Akteuren bereits inhärent ein geringeres Maß an selbstbestimmter Entscheidungsmöglichkeit zugesprochen wird. Grundsätzlich ließe sich mit Jürgen Mimkes argumentieren, dass sich die Soziologie bzw. Ökonomie durch die gleiche Mathematik, insbesondere Statistik

und Differentialgleichungen, beschreiben lassen.¹⁵ Auch der Vergleich mit den Einschränkungen magnetischer Modelle ist dabei hilfreich: Obwohl das Auftreten ferromagnetischer Ordnung im Ising-Modell beschrieben werden kann und sich daraus wichtige physikalische Schlussfolgerungen ableiten lassen, besitzt beispielsweise der Ferromagnet Eisen eben *keine* mit den einzelnen Atomen verknüpften lokalen paramagnetischen Momente. Obgleich die mikroskopische Vorstellung also nicht korrekt ist, lassen sich mittels des verwendeten Modells kollektive magnetische Phänomene beschreiben und analysieren.

Insgesamt hat mir die Zusammenarbeit an unserem Marsilius-Projekt nicht nur eine für mich überraschende methodische Nähe zwischen Ökonomie und Physik aufgezeigt, sondern mir auch einen neuen und kritischen Blick auf die Verwendung naturwissenschaftlich-technischer Modellvorstellungen zur Beschreibung gesellschaftswissenschaftlicher Phänomene ermöglicht. Es war dabei von Anfang an klar, dass ein direkter Beitrag für meine eigene Forschung nicht zu erwarten wäre. Auch die Anwendung der von uns erarbeiteten Modelle auf konkrete volkswirtschaftliche Probleme überschreitet aufgrund der für die Datengewinnung und -aufarbeitung notwendigen Zeiträume die Phase des Fellowjahres, so dass komplexe Simulationen noch ausstehen.⁷ In den Diskussionen der Fellows und durch den Einblick in die kritische und teilweise scharfe Auseinandersetzung über die Grenzen und Chancen von *Econophysics* in der aktuellen Literatur wurde mir deutlich, dass die Anwendung physikalisch-basierter Modelle auf gesellschaftliche Fragen eine Vielzahl grundlegender offener Fragen aufwirft. Exemplarisch seien Diskussionen in der Fellow-Klasse über die „Deutungsmacht“ zu gesellschaftlichen Fragen (P. Stoellger) und zur Willensfreiheit des Individuums (B. Ditzen) genannt. Die wöchentlichen Treffen sowie der Kontakt zu den früheren Fellow-Klassen hat im Sinne des Marsilius-Kollegs auch über die konkreten wissenschaftlichen Gespräche hinaus Brücken zu meinen Kollegen geschlagen, die ich persönlich und intellektuell als außerordentlich bereichernd wahrgenommen habe. Ich habe das Fellow-Jahr mit dem Gefühl beendet, an der Ruperta Carola angekommen zu sein.

¹ Dabei sind für ökonomische Fragen die jeweiligen Systeme außerhalb des statistischen Gleichgewichts zu untersuchen, da sich reale Märkte außerhalb eines solchen Gleichgewichts befinden. Vgl. J.L. McCauley: „Response to ‘Worrying Trends in Econophysics’“, in: *Physica A* 371 (2006), S. 601-609.

² E. Ising: *Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus*, in: *Zeitschrift für Physik* 31 (1925), S. 253-258.

- ³ Vgl. **D. Stauffer**: *Social applications of two-dimensional Ising models*, in: *Am. J. Phys.* 76 (2008), S. 470 - 473.
- ⁴ Vgl. **K. Sznajd-Weron und J. Sznajd**: *Opinion evolution in closed community*, in: *Int. J. Mod. Phys. C* 11 (2000), S. 1157-1165.
- ⁵ **E. Seefried**: *Zukünfte - eine Geschichte der Zukunftsforschung seit 1945 (18. Marsilius-Vorlesung)*, 10.11588/heidok.00022954.
- ⁶ Im Rahmen des Marsilius-Kollegs haben wir diese Frage z.B. im Zusammenhang mit den Vorhersagen früher kybernetischer Weltmodelle (**J. W. Forrester, D. Meadows**) oder mit der Sattelzeit-Theorie (**R. Koselleck**) bzw. Perioden gesellschaftlicher und kultureller Umbrüche diskutiert.
- ⁷ Siehe **Z. Enders**: *Komplexe Systeme in der Physik und der Ökonomie: Gemeinsamkeiten nutzbar machen* (dieser Band S. 133)
- ⁸ In magnetisch frustrierten Systemen können aufgrund der geometrischen Anordnung der Spins oder konkurrierender magnetischer Wechselwirkungen nicht alle magnetischen Wechselwirkungen gleichzeitig minimiert werden.
- ⁹ Die Kopenhagener statistische Interpretation der Quantenmechanik und die Heisenberg'sche Unschärferelation werden oft als Argumente für eine Willensfreiheit des Menschen herangezogen. **Manfred Salmhofer** konzediert in diesem Zusammenhang zwar eine Kompatibilität zwischen einer nicht-deterministischen Quantenwelt und dem freien Willen, weist aber darauf hin, dass ein direkter Bezug angreifbar sei, da Unbestimmtheit nicht Freiheit bedeute. Vgl. **M. Salmhofer**: *Freiheit inmitten von Bestimmtheit*, in: *Jahresbericht Marsilius-Kolleg 2014/2015*, S. 151-156.
- ¹⁰ Technisch kann dies z.B. durch die Erweiterung des Ising-Modells durch transversale Spinoperatoren geschehen. Im Rahmen des Projektes hat es sich gezeigt, dass in der *Quantum Decision Theory* zur Beschreibung individueller Entscheidungen in soziologischen Modellen bereits ein aus der Quantenmechanik motivierter mathematischer Formalismus verwendet wird. Vgl. z.B. **M. Favre** et al.: *Quantum Decision Theory in Simple Risky Choices*, in: *PLoS ONE* 2016 11(12): e0168045.
- ¹¹ Vgl. **S. Galam, Y. Gefen und Y. Shapir**: *Sociophysics: A mean behavior model for the process of strike*, in: *Math. J. of Sociology* 9 (1982), S. 1-13.
- ¹² Vgl. **H.E. Stanley** et al.: *Anomalous fluctuations in the dynamics of complex systems: from DNA and physiology to econophysics*, in: *Physica A* 224 (1996), S. 302-321.
- ¹³ **Serge Galam**: *Sociophysics. A Physicist's Modeling of Psycho-political Phenomena*, Springer 2012.
- ¹⁴ Vgl. dazu auch: **M. Buchanan**: *What has econophysics ever done for us?*, in: *Nature Physics* 9 (2013), S. 317.
- ¹⁵ Vgl. **J. Mimkes**: *A Thermodynamic Formulation of Economics*, in: *Econophysics and Sociophysics*, hg. von **B. K. Chakrabarti, A. Chakraborti und A. Chatterjee**, Weinheim: Wiley - VCH 2006, S. 1 - 33.