

RESEARCH ARTICLE

# Agentenbasierte Modellierung und Simulation im Pandemiemanagement

Jens Hälterlein\*<sup>1</sup> 

30

**Zusammenfassung** • Mathematische Modelle und Computersimulationen spielen im Rahmen der COVID-19-Pandemie eine entscheidende Rolle für das Wissen über die mögliche Entwicklung des Infektionsgeschehens und für entsprechende politische Entscheidungen. Der Beitrag stellt Ergebnisse aus einer ethnografischen Studie über ein staatlich finanziertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt vor, das sich mit der agentenbasierten Modellierung und Simulation (ABMS) im Kontext des Pandemiemanagements befasst. Ausgehend von der Annahme, dass der Einsatz von Computersimulationen im Pandemiemanagement nicht nur Mittel zum Zweck für politische bzw. epidemiologische Ziele ist, sondern wesentlich mitbestimmt, welche Ziele und Strategien als politisch legitim erscheinen, rekonstruiert der Beitrag, wie in der ABMS und spezifisch im beforschten Projekt Erkenntnisse über die Pandemie generiert und für die Entscheidungsfindung zugänglich gemacht werden.

## Agent-based modeling and simulation for pandemic management

**Abstract** • *Mathematical models and computer simulations play a crucial role in the context of the COVID-19 crisis for knowledge about the possible course of the pandemic and for appropriate policy decisions. The paper presents results from an ethnographic study of a government-funded R&D project dealing with agent-based modeling and simulation (ABMS) in the context of pandemic management. Based on the assumption that the use of computer simulations in pandemic management is not only a means to an end for political or epidemiological goals but also plays a significant role in determining which goals and strategies appear politically legitimate, the paper reconstructs how insights into the pandemic are generated in ABMS and specifically in the researched project and made accessible for decision-making.*

**Keywords** • *agent-based modeling, simulation, pandemic management*

*This article is part of the Special topic “Modeling for policy: Challenges for technology assessment from new prognostic methods,” edited by A. Kaminski, G. Gramelsberger and D. Scheer. <https://doi.org/10.14512/tatup.32.1.10>*

Aktuelle Fallzahlen, zeitliche Verlaufskurven und animierte Grafiken des Infektionsgeschehens spielen nicht nur in der medialen Kommunikation zur COVID-19-Pandemie eine zentrale Rolle.<sup>1</sup> Auch politische Entscheidungsträger\*innen begründen ihr Handeln in der Regel mit dem Verweis auf ein Wissen, das sich aus dem Monitoring von Neuinfektionen und die Analyse dieser Daten speist. Eine besondere Rolle beim Management der Pandemie nehmen mathematische Modellierungen und Computersimulationen von Infektionsdynamiken ein.

So hatte eine Modellierung, anhand derer die Verbreitung von SARS-CoV-2 in der britischen Bevölkerung in unterschiedlichen Szenarien simuliert wurde, entscheidenden Einfluss auf das Handeln der britischen Regierung. Zu Beginn der Pandemie setzte diese zunächst auf die Strategie der ‚Herdenimmunität‘. In Anbetracht eines simulierten Szenarios, bei dem das Gesundheitssystem Großbritanniens durch SARS-CoV-2 Infektionen überlastet werden würde und bis zu 500.000 Todesfälle auf Grund von COVID-19 Infektionen auftreten könnten, entschied sich die britische Regierung jedoch zu einschneidenden Maßnahmen. Für die USA wurde auf Basis des gleichen Modells ein Szenario mit bis zu 2,2 Millionen Todesfällen simuliert. Mit diesen Zahlen konfrontiert, entschied sich das Weiße Haus umgehend Maßnahmen zu ergreifen und erließ u. a. Regeln für ein ‚social distancing‘ (Adam 2020).

Auch mit Blick auf Deutschland lässt sich ein entscheidender Einfluss von Modellierungen auf politische Entscheidungsprozesse konstatieren.

\* Corresponding author: [jens.haelterlein@upb.de](mailto:jens.haelterlein@upb.de)

<sup>1</sup> Institut für Medienwissenschaften, Universität Paderborn, Paderborn, DE



© 2023 by the authors; licensee oeekom. This Open Access article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY).

<https://doi.org/10.14512/tatup.32.1.30>

Received: 26. 08. 2022; revised version accepted: 17. 01. 2022;

published online: 23. 03. 2023 (peer review)

<sup>1</sup> Einzelne Passagen dieses Beitrags wurden bereits in Hälterlein 2020 veröffentlicht.

In einer Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie vom 18. März 2020 (Deutsche Gesellschaft für Epidemiologie 2020) wurden, basierend auf den Ergebnissen einer Computersimulation, Handlungsempfehlungen in Richtung der Entscheidungsträger auf Bund- und Länderebene ausgesprochen. Mit Blick auf die geschätzten Kapazitätsgrenzen des deutschen Gesundheitssystems wurde mit Nachdruck empfohlen, bereits bestehende Maßnahmen (Verbot von Großveranstaltungen und Schulschließungen) durch weitere Beschränkungen sozialer Kontakte zu ergänzen. Wenige Tage später beschlossen die Bundesregierung und die Länder mit Verweis auf diese Empfehlungen ein umfangreiches Maßnahmenpaket in dessen Kern allgemeine Kontaktbeschränkungen standen.

von ‚Smart-City‘-Daten ein Lagebild erstellt wird und mögliche Auswirkungen von lokalen, nicht-pharmazeutischen Maßnahmen simuliert und visualisiert werden. Im Rahmen der ethnografischen Studie wurden Interviews mit am Projekt beteiligten Akteuren geführt, die aus dem Projekt entstandenen Publikationen analysiert und eine teilnehmende Beobachtung bei der öffentlichen Präsentation der Projektergebnisse durchgeführt.

Ausgehend von der Annahme, dass der Einsatz von Computersimulationen im Pandemiemanagement nicht nur Mittel zum Zweck für politische bzw. epidemiologische Ziele ist, sondern wesentlich mitbestimmt, welche Ziele und Strategien als politisch legitim erscheinen, möchte ich rekonstruieren, wie in der ABMS und spezifisch im beforschten Projekt Erkenntnisse über

## *Für Deutschland lässt sich ein entscheidender Einfluss von Modellierungen auf politische Entscheidungsprozesse konstatieren.*

Bereits vor ihrem Erfolg im Zuge der COVID-19 Krise wurden jedoch die Validität der Modelle und die Aussagekraft der auf diesen Modellen basierenden Computersimulationen in Frage gestellt. Es wurde insbesondere bemängelt, dass Modelle in der Regel nicht berücksichtigen, dass Individuen ihr Verhalten in Epidemien/Pandemien anpassen und beispielsweise Großveranstaltungen meiden oder freiwillig Hygienemaßnahmen ergreifen. Diese Anpassungen haben zur Folge, dass sich Infektionsdynamiken ändern, was wiederum dazu führe, dass modellbasierte Vorhersagen, die individuelles Verhalten nicht berücksichtigen, nicht zutreffen (Epstein et al. 2008). Einer der Gründe für diese folgenschwere Abstraktion ist, dass auf mathematischen Gleichungen basierende Modelle schlichtweg von einer homogenen Bevölkerung ausgehen, da sich eine differenzierte Darstellung in ungleich komplexeren Gleichungen niederschlagen müsste, was die Anwendung und das Verständnis der Modelle deutlich erschweren würde (Frias-Martinez et al. 2011). Als vielversprechende Alternative zu diesen Makro-Modellierungen werden nun immer häufiger agentenbasierte Modelle und Simulationen (ABMS) genannt, da diese eine Modellierung individuellen Verhaltens und daher eine deutlich differenziertere und insofern auch realistischere Simulation von Szenarien ermöglichen würden (Lorig et al. 2021). Aus der Perspektive der Technikfolgenabschätzung (TA) gilt es, dieses Versprechen kritisch zu prüfen.

Im Folgenden werde ich Ergebnisse aus einer ethnografischen Studie über ein staatlich finanziertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt vorstellen, das sich mit der agentenbasierten Modellierung von Infektionsdynamiken im Kontext des Pandemiemanagements befasst. In dem Projekt wurde ein Demonstrator eines auf verteilter künstlicher Intelligenz (KI) basierenden Systems entwickelt, das Kommunen bei der Bewältigung von Krisenlagen unterstützt, indem auf Basis der Auswertung

die Pandemie generiert und wie diese Erkenntnisse für die Entscheidungsfindung zugänglich gemacht werden können. Dabei wird eine Reihe von Fragen adressiert, die für die TA von hoher Relevanz sind: Welche Aussagekraft haben die Ergebnisse der agentenbasierten Simulation von Szenarien und wo liegen deren Grenzen? Wie sollten diese Ergebnisse interpretiert werden, wenn sie einerseits auf fehlerhaften Daten und unrealistischen Annahmen über das Verhalten der individuellen Agenten basieren könnten und andererseits der stochastische Charakter des Outputs statistischer, d. h. nicht-deterministischer Modelle berücksichtigt wird? Welche Gefahren bestehen, wenn die Ergebnisse von ABMS nicht ausreichend kritisch reflektiert werden?

### **Was leisten Modelle und Simulationen in einer Pandemie?**

Zunächst gilt es allerdings zu klären, worin der Zweck von Modellierungen und Computersimulationen im Kontext des Pandemiemanagements besteht. Modelle und Computersimulationen ermöglichen das Erstellen unterschiedlicher Szenarien von möglichen Zuständen komplexer Systeme. Epidemiologische Computersimulationen lassen sich demnach als virtuelle Laboratorien begreifen, in denen Wissenschaftler\*innen Erkenntnisse über den möglichen zukünftigen Verlauf eines Infektionsgeschehens produzieren. Diese Erkenntnisse sind natürlich auch für politische Entscheidungsträger\*innen nützlich: Wenngleich viele, empirisch nicht belegte oder nicht belegbare Annahmen sowie Schätzungen numerischer Werte (Reproduktionszahl, Inkubationszeit, Erkrankungsdauer, Sterblichkeitsrate etc.) in eine epidemiologische Simulation einfließen, ermöglichen die generierten Szenarien eine Kontingenzbewältigung im Umgang mit

Ungewissheit. Durch sie wird es möglich, potenzielle Auswirkungen von Epidemien zu antizipieren und vorbereitende Maßnahmen für deren Eintreten zu ergreifen. Darüber hinaus ermöglichen sie das Testen von pharmazeutischen und insbesondere nicht-pharmazeutischen Maßnahmen im Hinblick auf deren Effektivität bei der Bekämpfung einer Pandemie. Ein solches experimentelles Durchspielen von Handlungsoptionen unter Laborbedingungen vermag die Unsicherheit zu reduzieren, die mit der Unvorhersehbarkeit von Handlungseffekten in der politischen Praxis einhergeht (Opitz 2017). Epidemiologische Computersimulationen können also politische Entscheidungsprozesse unterstützen, indem sie die möglichen Konsequenzen von Entscheidungen im Rahmen dieser Entscheidungen antizipierbar machen.

Aus diesem Grund plädiere ich dafür, den Einsatz von epidemiologischen Computersimulationen als Prozess algorithmischer Entscheidungsfindung, dem sogenannten ‚algorithmic decision-making‘ (ADM), zu verstehen. Der Grad an Automatisierung variiert innerhalb des ADM. Im Falle von epidemiologischen Computersimulationen handelt es sich um Entscheidungsassistenzsysteme, die Entscheidungen nicht selbst treffen, sondern unterstützen. Die Entscheidungshoheit verbleibt damit bei den Anwender\*innen des Systems (‚human in the loop‘).

Eine der interviewten Personen verdeutlicht den Doppelcharakter von epidemiologischen Computersimulationen als Erkenntnis- und Entscheidungsinstrument anhand des Dashboards, das im Projekt entwickelt wurde und als Mensch-Ma-

nahmen, die wir beschließen könnten, die man einführen könnte. Oder auch, die man wieder auflösen möchte sozusagen, wenn sich die Lage entspannt und dann eben darüber, über die Simulationen einen Eindruck zu gewinnen, wie würde sich das Ganze gegebenenfalls auswirken.“

## Die Vorteile und Grenzen agentenbasierten Modellierens

Was ist nun aber das Spezifische an ABMS und wie unterscheidet es sich von den ebenso einflussreichen wie strittigen Makromodellierungen? Um Infektionsdynamiken in Szenarien simulieren zu können, liegt Modellen, die auf mathematischen Gleichungen basieren, in der Regel das SIR-Modell (oder eine Variation dieses Modells) zu Grunde. Dieses unterteilt eine Bevölkerung in verschiedene Gruppen: die Empfänglichen (susceptible), die symptomatisch Infektiösen (infectious) und die Genesenen (recovered). Mögliche Infektionsdynamiken können sodann im Hinblick auf die Übergänge zwischen diesen Gruppen modelliert werden. Dem Modell, auf das in der eingangs erwähnten Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie Bezug genommen wird, liegt beispielsweise das sogenannte SEIR-Modell zu Grunde, in dem zusätzlich die Gruppe der infizierten, aber noch nicht infektiösen Personen (exposed) erfasst wird.

### *Epidemiologische Computersimulationen sind Assistenzsysteme, die Entscheidungen nicht selbst treffen, sondern unterstützen; die Entscheidungshoheit haben die Anwender\*innen eines Systems.*

schine-Schnittstelle fungiert, über die Benutzer\*innen mit der ABMS in Interaktion treten können. Sie beschreibt das Dashboard analog zu einem Flugzeugcockpit:

„Und zwar ist die Idee dabei letztendlich, dass [...], wenn man sich so ein Flugzeugcockpit beispielsweise vorstellt, mehrere Personen in einem Team mit durchaus verteilten Rollen zusammenarbeiten, um in diesem Fall das Flugzeug ans Ziel zu bringen. Und dabei gibt es dann verschiedene Möglichkeiten oder verschiedene Instrumente, die diese Personen im Endeffekt nutzen können, nämlich einmal Anzeigeeinstrumente zu Lagebeurteilung und aber auch Steuerungsinstrumente, um darauf einwirken zu können. Und die Anzeigeeinstrumente sind bei uns eben sowas wie die Informationszusammenführung über den Ist-Zustand [der Pandemie, J. H.], die letztendlich in einem Dashboard funktioniert. Und die Steuerungsinstrumente sind dann eben die Möglichkeit auszuwählen, [...] was wären mögliche [pharmazeutische oder nicht-pharmazeutische, J. H.] Maß-

In ABMS werden zwar weiterhin diese Gruppen und die Übergänge zwischen ihnen berücksichtigt, allerdings werden die Bewohner einer Stadt oder eines ganzen Landes als individuelle Akteure (= Agenten) modelliert, die entsprechend der ihnen zugewiesenen Handlungslogiken in einer modellierten Umwelt (inter-)agieren. Dieses Modell der Umwelt kann beispielsweise ein digitaler Zwilling<sup>2</sup> einer Stadt sein. Für das Projekt stehen hierfür die ‚Smart-City-Daten‘ einer Stadt zur Verfügung, die als Kooperationspartner in das Projekt eingebunden ist. Die Handlungslogiken der Agenten werden zumeist entsprechend der als typisch erachteten Tagesabläufe einzelner Subpopulationen modelliert. Dazu wird die zu modellierende Bevölkerung in Alterskohorten, Haushalte oder Berufsgruppen unterteilt, denen jeweils ein bestimmtes Mobilitäts- und Sozialverhalten zugeordnet ist, aus dem sich wiederum Risikobegegnungen ergeben, die zu Infektionen führen können. Für das im Projekt entwickelte

2 Als ‚digitaler Zwilling‘ wird eine Repräsentation eines Objekts aus der realen Welt in der digitalen Welt bezeichnet.

Modell wird in erster Linie das Alter einer Person als relevantes Unterscheidungsmerkmal innerhalb der Bevölkerung erachtet. Das Verhalten der einzelnen Agenten wird entweder in Form von ‚random walks‘, also als randomisierte Bewegung im virtuellen Raum modelliert oder entsprechend den Methoden verteilter künstlicher Intelligenz (Epstein 2009). In letzterem Fall werden Agenten als rationale Akteure programmiert, d. h. sie verfolgen bestimmte, vorab definierte Strategien und reagieren auf veränderte Umweltbedingungen mit wiederum vorab definierten, veränderten Verhaltensweisen, würden also beispielsweise bestimmte Orte meiden, falls das Ansteckungsrisiko dort zu hoch wäre. Auch ein Verhalten, das unterschiedliche Optionen entsprechend ihrem Nutzen gegeneinander abwägt, kann programmiert werden. Im beforschten Projekt werden sogar abweichendes Verhalten (Maskenverweigerung, illegale Zusammenkünfte etc.) und freiwillige Selbstquarantäne als Handlungsoptionen der intelligenten Agenten vorgesehen. In dieser modellierten Realität wird sodann der Ausbruch einer Infektionskrankheit simuliert, um zu beobachten, wie sich der Erreger infolge der Mobilität und der Interaktionen der Agenten geografisch und demografisch verbreitet und der Status der Akteure zwischen den einzelnen Gruppen wechselt.

Von den vielen Differenzen, die Modelle, welche auf mathematischen Gleichungen basieren, und agentenbasierte Modelle aufweisen, wird zumeist hervorgehoben, dass Agenten untereinander und mit ihrer Umwelt interagieren. Somit kann ihr Verhalten entweder direkt oder vermittelt über die Veränderung von Umweltbedingungen das Verhalten anderer Agenten beeinflussen. Auf mathematischen Gleichungen basierende Modelle können diese Interaktionen und ihre Effekte nicht berücksichtigen, was zu unrealistischen Annahmen und falschen Prognosen zukünftiger Entwicklungen führe. Denn gerade diese wechselseitige Verhaltensanpassung kann zu Systemzuständen führen, die sich vorab nicht vorhersagen lassen. Es entstehen nichtlineare Prozesse und emergente Effekte, die das unbeabsichtigte Ergebnis der Intentionen und Interaktionen der rational handelnden Agenten sind (Weyer und Roos 2017).

Da es sich bei der ABMS folglich nicht um deterministische, sondern um statistische Modelle handelt, bei denen die Beziehungen zwischen den Variablen stochastisch sind, können bei mehreren Durchläufen einer Simulation unterschiedliche Ergebnisse entstehen. Eine solche Varianz lässt sich als Bandbreite von Ergebnissen innerhalb eines Möglichkeitsraums konzipieren. Während sich die Modelle der ABMS also als realistischere Repräsentationen von komplexen sozialen Systemen verstehen lassen, ist das Ergebnis einer durchgeführten Simulation nicht notwendiger Weise mit dem Ergebnis realer sozialer Interaktionen identisch. Dies wird in einem der Interviews als Bruch mit dem Prognoseversprechen gedeutet, das die Erwartungen an Modellierungen und Computersimulationen sowohl in der Öffentlichkeit als auch in der Politik stark prägen (Ioannidis et al. 2022).

„Weil wir eine Bandbreite haben, spreche ich da nicht so gerne von Prognose, weil wir im Wesentlichen, ja, nicht die

Zukunft tatsächlich vorhersagen können. Wir können nur eine Größenordnung letztendlich vorgeben oder die Bandbreite aufmachen zwischen ‚das ist der Worst-Case, den wir beobachtet haben‘ und ‚das ist der Best-Case, den wir beobachtet haben‘. Und mit einer gewissen Plausibilität liegt dann die Realität wahrscheinlich irgendwo dazwischen.“

Die Aussage „mit einer gewissen Plausibilität“ verweist allerdings bereits darauf, dass unter den Bedingungen von Emergenz und Nichtlinearität diese Bandbreite wiederum nur einen Teil der möglichen Realitäten, d. h. Systemzustände abbildet. Der bereits zuvor zitierte Interviewpartner veranschaulicht dieses Risiko anhand des für stochastische Verfahren paradigmatischen Würfelbeispiels:

„Wir haben einen Würfel hundert Mal geworfen, wir haben Ergebnisse zwischen 1 und 6 beobachtet, aber wenn wir den Würfel das hunderterste Mal werfen und sozusagen in der Realität den Würfel werfen, wissen wir nicht, welches dieser Ergebnisse kommen wird. Und es kann durchaus sein, dass es ein zehneitiger Würfel war und wir aber nur 6 von den möglichen Ergebnissen beobachtet haben und das reale Ergebnis im Endeffekt dann sogar außerhalb dessen liegt.“

Diese Reflexion der Grenzen der durch Modelle und Simulationen generierbaren Erkenntnisse führt dann schließlich zu einer doppelten Kritik. Zum einen an der öffentlichen Wahrnehmung von Wissenschaft.

„Aber das wird in der öffentlichen Diskussion, und das krei-de ich noch nicht mal den Kolleginnen und Kollegen in der Wissenschaft an, [...] natürlich sehr viel kompakter dargestellt und [...] bestimmte Grenzen und Einschränkungen fallen dann schnell mal gerne unter den Tisch. Und dann heißt es: ‚Ja, aber die Wissenschaft hat doch prognostiziert, es wird so und so, und die liegen ja alle falsch! Was können die denn eigentlich?‘“

Zum anderen wird aber auch das Auftreten und Selbstverständnis von einigen Wissenschaftler\*innen problematisiert, was sich durchaus als implizite Kritik an den zu Beginn erwähnten wissenschaftlichen Politikberatungen mit direkten praktischen Konsequenzen verstehen lässt.

„Und die Gefahr sehe ich an der Stelle dann insbesondere, wenn die wissenschaftliche Kommunikation nicht mehr einfach nur darum geht, was für Erkenntnisse haben wir, sondern wenn es dann auch darum geht, deutliche Beratung mindestens zu machen, oder aber sogar den Diskurs so ein bisschen vorzugeben, indem man sagt ‚unsere Erkenntnisse sagen, wir müssen es so und so machen und das muss jetzt auch so passieren, ansonsten können wir für nichts mehr garantieren‘.“

## Risiken einer stark vereinfachten Darstellung von Simulationsergebnissen

Welche Rolle spielt nun aber diese proklamierte Abkehr vom Prognoseparadigma der Modellierung und Simulation sowie die daraus abgeleitete Kritik an ungerechtfertigten Formen der Politikberatung für die praktische Tätigkeit im beforschten Projekt? Um diese Frage zu beantworten bietet es sich an, das ‚Dashboard‘ zu betrachten, das in seiner anvisierten Funktion als Mensch-Maschine-Schnittstelle zugleich Erkenntnisse aus der ABMS darstellen und Möglichkeiten zur experimentellen Erprobung der Effekte von einzelnen Maßnahmen bieten soll. Das Dashboard ist so gestaltet, dass es sowohl den faktischen Ist-Zustand als auch hypothetische ‚Was-Wäre-Wenn-Zustände‘ in einen sog. pandemic-pressure-score (PPS) ausdrückt, der unter Berücksichtigung zahlreicher Werte und Gewichtungen berechnet wird. Dieser PPS wird für die folgenden vier Dimensionen generiert:

- Gesundheit der Bevölkerung
- Auslastung des Gesundheitssystems
- wirtschaftliche und soziale Belastung
- Belastung kritischer Infrastrukturen

In den Publikationen des Projekts und den von mir geführten Interviews wird nun betont, dass der PPS neben der Inzidenz und der Hospitalisierungsrate auch nicht-medizinische Faktoren erfasst und sich somit in seinem Differenzierungsgrad von ähnlichen Diensten und Tools abhebt. Dies mag zwar für die Darstellung der Ist-Zustände zutreffen. Im Hinblick auf die Frage, wie der nicht-prognostische Charakter und die Grenzen der Simulationsergebnisse reflektiert werden, ergibt sich jedoch ein anderes Bild. Denn der PPS vermittelt gerade nicht die Bandbreite an möglichen Systemzuständen, sondern suggeriert in seiner metrischen Skalierung (der PPS kann einen Wert zwischen 1 und 100 annehmen), dass es sich um ein definitives und exaktes Ergebnis handelt, das letzten Endes prognostischen Charakter hat.

Die problematischen Effekte, die eine solche Wahrnehmung haben kann, lassen sich im Anschluss an die empirische Wirkungsforschung zum Einsatz von Entscheidungsassistenzsystem formulieren (Skitka et al. 1999). Dort wurde festgestellt, dass Anwender\*innen den Output der Systeme kaum kritisch hinterfragen und diesen sogar tendenziell als unfehlbar betrachten, was als ‚automation bias‘ bezeichnet wird. Eben jener Bias führt nun häufig zu zwei Arten von Fehlern: Bei einem ‚Commission-Fehler‘ folgen Anwender\*innen einer fehlerhaften Empfehlung eines Assistenzsystems. Bei einem ‚Omission-Fehler‘ hingegen, übersehen Anwender\*innen kritische Systemzustände, sofern diese von dem System nicht identifiziert werden. Bei der Anwendung von Modellierungen und Simulationen im Pandemiemanagement könnten Commission-Fehler generell dadurch entstehen, dass die verwendeten Daten fehlerhaft sind oder Werte falsch geschätzt wurden. Bei der ABMS könnten zudem falsche

Annahmen über das Verhalten von Agenten sowie eine ungenaue Darstellung der Struktur der Bevölkerung und der Umweltbedingungen für das Verhalten der Agenten eine Fehlerquelle sein. Durch die Verfügbarkeit der Smart-City-Daten, anhand derer der Demonstrator entwickelt und getestet wurde, konnte dieses Problem zwar innerhalb des Projekts in den Hintergrund treten. Jedoch sollte gerade angesichts des im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Daten sehr voraussetzungsreichen Ansatzes, die Möglichkeit eines fehlerhaften Outputs in das Design des Tools integriert werden, beispielsweise indem die Wahrscheinlichkeit, dass der errechnete PPS falsch ist, immer zusammen mit diesem angezeigt wird.

Das Risiko für Omission-Fehler wird durch die Mehrdimensionalität des PPS zwar verringert, dennoch bleiben kritische Systemzustände, die nicht in einer der vier Dimensionen erfasst werden, für die Anwender\*innen unsichtbar. Zudem werden in dem Dashboard nur die Maßnahmen erfasst (und folglich auch durchspielbar), die bisher bereits im Rahmen der Bekämpfung von Infektionskrankheiten eingeführt wurden. Damit begrenzt sich der Horizont des Dashboards jedoch auf den Horizont der Entscheidungsträger, die sich bisher dem Management von Pandemien gewidmet haben. Alternative Ansätze für den Umgang mit Pandemien bleiben qua Design außen vor (Littoz-Monnet 2020).

Mit Blick auf das Design des Dashboards lässt sich noch ein weiteres Problem identifizieren. Die aktuelle Lage und die Auswirkungen von einzelnen Maßnahmen werden nicht nur in einen PPS ausgedrückt, sondern auch anhand eines Ampelsystems visualisiert. Die Ampelfarbe veranschaulicht inwiefern die Gesundheit der Bevölkerung, das Gesundheitssystem, die kritischen Infrastrukturen und die Wirtschaft aktuell belastet sind oder durch die Effekte von Maßnahmen belastet werden würden: Grün steht für eine geringe, gelb für eine mittlere und rot für eine hohe Belastung. Die drei Farben entsprechen jeweils einem bestimmten Bereich des PPS. Dieser Ansatz wurde mit Blick auf die Bedarfe von politischen Entscheidungsträgern in Krisensituationen gewählt. So verweist einer der Interviewpartner darauf, dass dem Projekt von Seiten einer der Partnerstädte des Projekts angetragen wurde, dass deren Bürgermeister „so was wie ein Ampelsystem“ als Entscheidungsgrundlage benötige. Dies ist einerseits durchaus nachvollziehbar, denn angesichts der Fülle an potenziell relevanten Informationen die zur Verfügung stehen, kann eine Entscheidung, insbesondere, wenn sie unter Zeitdruck gefällt werden muss, nur erfolgen, wenn sie nicht alles reflektieren und berücksichtigen muss, was es prinzipiell zu reflektieren und zu berücksichtigen gäbe. Um einen ‚information overflow‘ zu verhindern, kann ein Ampelsystem also durchaus nützlich und zielführend sein. Andererseits ist diese Komplexitätsreduktion das Einfallstor für implizite Wertungen und Weltbilder der beteiligten Forscher\*innen und Programmierer\*innen, da die Schwellenwerte, die den Übergang von grün zu gelb und von gelb zu rot bestimmen, sich ja nicht aus dem PPS selbst ableiten lassen, sondern festgelegt werden müssen.

## Fazit

ABMS ermöglichen im Vergleich zu mathematischen Modellierungen komplexere Darstellungen von Infektionsdynamiken und machen in der Form von ‚Was-Wäre-Wenn-Szenarien‘ die Auswirkungen von Maßnahmen zur Bekämpfung einer Pandemie antizipierbar. Der emergente und nicht-lineare Charakter von agentenbasierten Simulationen widerspricht jedoch einem Prognoseversprechen, das die öffentliche Wahrnehmung von Modellierungen bestimmt und nicht zuletzt von einem Teil der in der wissenschaftlichen Politikberatung tätigen Modellierer\*innen genährt wird. Diese Grenzen der ABMS sollten gegenüber Öffentlichkeit und politischen Entscheidungsträger\*innen klar kommuniziert werden und auch im Design von entsprechenden Entscheidungsunterstützungssystemen zum Ausdruck kommen. Dadurch kann überzogenen Erwartungshaltungen entgegen gewirkt werden, die folgenschwer sein können. In diesem Sinne gilt auch für ABMS die zentrale Forderung des von Saltelli et al. (2020, S. 484) verfassten Manifests: „Models’ assumptions and limitations must be appraised openly and honestly. Process and ethics matter as much as intellectual prowess.“

**Funding** • Funding was provided by the Fritz-Thyssen-Foundation.

**Competing interests** • The author declares no competing interests.

## Literatur

- Adam, David (2020): Special report: The simulations driving the world’s response to COVID-19. In: *Nature* 580 (7803), S. 316–318. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01003-6>
- Deutsche Gesellschaft für Epidemiologie (2020): 2. Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi) zur Verbreitung des neuen Coronavirus (SARS-CoV-2). Online verfügbar unter [https://www.awmf.org/fileadmin/user\\_upload/dateien/covid\\_19\\_leitlinien/6.2.pdf](https://www.awmf.org/fileadmin/user_upload/dateien/covid_19_leitlinien/6.2.pdf), zuletzt geprüft am 03.02.2023.
- Epstein, Joshua (2009): Modelling to contain pandemics. In: *Nature* 460 (7256), S. 687. <https://doi.org/10.1038/460687a>
- Epstein, Joshua; Parker, Jon; Cummings, Derek; Hammond, Ross (2008): Coupled contagion dynamics of fear and disease. *Mathematical and computational explorations*. In: *PloS one* 3 (12), S. e3955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003955>
- Frias-Martinez, Enrique; Williamson, Graham; Frias-Martinez, Vanessa (2011): An agent-based model of epidemic spread using human mobility and social network information. In: 2011 IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk, and Trust, and IEEE International Conference on Social Computing, S. 57–64. <https://doi.org/10.1109/PASSAT/SocialCom.2011.142>
- Hälterlein, Jens (2020): Die Simulation der Pandemie: Ein Beitrag zur Reihe „Sicherheit in der Krise“. Online verfügbar unter <https://www.sozio.polis.de/die-simulation-der-pandemie.html>, zuletzt geprüft am 03.02.2023.
- Ioannidis, John; Cripps, Sally; Tanner, Martin (2022): Forecasting for COVID-19 has failed. In: *International Journal of Forecasting* 38 (2), S. 423–438. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.08.004>
- Littoz-Monnet, Annabelle (2020): Depoliticising through expertise. The politics of modelling in the governance of COVID-19. Online verfügbar unter [https://globalchallenges.ch/issue/special\\_1/depoliticising-through-expertise-the-](https://globalchallenges.ch/issue/special_1/depoliticising-through-expertise-the-politics-of-modelling-in-the-governance-of-covid-19)

[politics-of-modelling-in-the-governance-of-covid-19](https://globalchallenges.ch/issue/special_1/depoliticising-through-expertise-the-politics-of-modelling-in-the-governance-of-covid-19), zuletzt geprüft am 03.02.2023.

- Lorig, Fabian; Johansson, Emil; Davidsson, Paul (2021): Agent-based social simulation of the COVID-19 pandemic. A systematic review. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 24 (3), 26 S. <https://doi.org/10.18564/jasss.4601>
- Opitz, Sven (2017): Simulating the world. The digital enactment of pandemics as a mode of global self-observation. In: *European Journal of Social Theory* 20 (3), S. 392–416. <https://doi.org/10.1177/1368431016671141>
- Saltelli, Andrea et al. (2020): Five ways to ensure that models serve society. A manifesto. In: *Nature* 582 (7813), S. 482–484. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01812-9>
- Skitka, Linda; Mosier, Kathleen; Burdick, Mark (1999): Does automation bias decision-making? In: *International Journal of Human-Computer Studies* 51 (5), S. 991–1006. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1999.0252>
- Weyer, Johannes; Roos, Michael (2017): Agentenbasierte Modellierung und Simulation. In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 26 (3), S. 11–16. <https://doi.org/10.14512/tatup.26.3.11>



### DR. JENS HÄLTERLEIN

ist seit 2022 Koordinator des Projekts „Meaningful Human Control – Autonome Waffensysteme zwischen Regulation und Reflexion“ an der Universität Paderborn. Er forscht seit mehreren Jahren über die gesellschaftlichen Dimensionen von digitalen Sicherheitstechnologien.