

Sozialsimulationen innovationspolitischer und medizinischer Maßnahmen

Samer Schaat, Christoph Bogenstahl, Kerstin Goluchowicz,
Tatjana Heinen-Kammerer, Sebastian Weide

Samer Schaat, Christoph Bogenstahl, Kerstin Goluchowicz, Tatjana Heinen-Kammerer, Sebastian Weide

Sozialsimulationen innovationspolitischer und medizinischer Maßnahmen

1 Evaluierung vor Implementierung – ein Widerspruch?

Es ist ein Dilemma: Erst wenn Akteure eine Innovation umsetzen und die Innovation gesellschaftlich diffundiert ist, kann empirisch evaluiert werden, ob dadurch gesellschaftliche Ziele erreicht wurden. Der Gestaltung innovationspolitischer Maßnahmen mangelt es somit im Vorfeld an Informationen über deren absehbarer Wirksamkeit. Erst dann könnten Auswirkungen technologischer und sozialer Innovationen auf Mensch, Wirtschaft, Gesellschaft und Natur eingeschätzt und beeinflusst werden. Gerade bei Maßnahmen, die erst auf gesellschaftlicher Ebene wirken (z. B. bei Epidemien), ist das besonders wichtig, da ihre Rücknahme nach einer breiten Implementierung verspätet oder nicht möglich ist. Gleichzeitig ist die realweltliche Erforschung von Maßnahmen, die eine Implementierung auf gesellschaftlicher Ebene benötigen, im Vorhinein sehr aufwendig bis unmöglich. Falls sie durchgeführt werden kann, werden gesellschaftliche Wirkungen oft noch nicht beobachtet oder der kausale Zusammenhang zwischen Intervention und gesellschaftlicher Wirkung kann nicht mehr valide hergestellt werden. Fragen, die in der realen Welt nur sehr eingeschränkt erforscht werden können, die jedoch frühzeitig adressiert werden müssen, um passende Maßnahmen gestalten zu können, betreffen z. B. Interventionsoptionen bei Epidemien und Auswirkungen auf die Organisation des medizinischen Versorgungssystems durch technologische Innovationen.

Um die Wirksamkeit von Interventionen auf der individuellen Ebene des Menschen zu überprüfen, haben sich wissenschaftliche Methoden etabliert, allen voran die randomisierte kontrollierte Studie und technische Validierungen. Für die Untersuchung von Interventionen auf der gesellschaftlichen Ebene, die erst durch die Interaktion einer hohen Anzahl von Akteuren untereinander und mit Technologien beobachtet werden können, sind aufgrund ihrer Komplexität und mangelnden Kontrollierbarkeit jedoch bisher hauptsächlich Befragungsmethoden

und qualitative Analysen vorhanden. Deren Ergebnisse reichen allerdings für belastbare Handlungsempfehlungen oft nicht aus. Dieser Mangel an gesellschaftlichen Experimentierräumen kann durch Computersimulation adressiert werden, die in dieser iit perspektive diskutiert werden. Es wird ein Schlaglicht auf die Methoden von Simulationen (Kapitel 2) und die Relevanz agentenbasierter Simulation (Kapitel 3) geworfen. Praxisbeispiele zeigen auf, wie agentenbasierte Modellierung (ABM) den beschriebenen Nutzen im Bereich der Ex-ante-Evaluierung von Fördermaßnahmen (Kapitel 4) und der Simulation medizinischer und epidemiologischer Maßnahmen (Kapitel 5) erbringt.

2 Wozu Sozialsimulationen?

Wenn Experimente in der physikalischen Welt nicht möglich oder zu aufwendig sind, werden häufig Computersimulationen durchgeführt, beispielsweise bei der Entwicklung großer Turbinen. Wenn die Prozesse und ihre Zusammenhänge auf der Ebene des Gesamtsystems gut verstanden und abgebildet werden können, ist die Durchführung analytischer Ansätze (z. B. System Dynamics) top-down möglich. Dies ist bei sozialen Phänomenen jedoch oft andersherum gelagert: Soziale Phänomene sind dadurch geprägt, dass ihre Entstehung (Makroebene) auf Basis der Interaktion von Individuen (Mikroebene) oft nicht ausreichend verstanden wird. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Eigenschaften der Makroebene bzw. des Gesamtsystems (Gesellschaft) nicht direkt aus den Eigenschaften der Mikroebene (Individuen) abgeleitet werden können. Solche Eigenschaften des Systems werden als emergent bezeichnet.

Für die Erforschung emergenter Phänomene haben sich Bottom-up-Ansätze bewährt, vor allem die agentenbasierte Modellierung (ABM). Der Anspruch dabei ist, durch die Simulation von Interaktionen zahlreicher agierender Individuen (sogenannter Agenten) das Entstehen eines sozialen Phänomens beobachten zu können. Dadurch wäre ein Erklärungskandidat

gefunden, der eine Brücke zwischen der Mikro- und Makroebene herstellt, und der in der Empirie weiter erforscht werden kann. Übersetzt auf die Evaluierung von innovationspolitischen Maßnahmen, kann durch ABM simuliert werden, wie Interaktionen zwischen Akteuren (ggf. mittels technischer Objekte) gestaltet werden müssten, damit gesellschaftliche Ziele erreicht werden können. ABM ist dabei aufgrund seines Bottom-up-Ansatzes besonders geeignet, wenn zu evaluierende Interventionen auf der individuellen Akteursebene verankert werden sollen. Einerseits kann dadurch die simulierte Anwendung etablierter Theorien in unterschiedlichen Kontexten getestet werden. Andererseits können in Computersimulationen gezielt Hypothesen entwickelt werden, die dann empirisch getestet werden können.

Der Kern eines agentenbasierten Modells trifft Annahmen zu den Interaktionen zwischen Individuen: Unter welchen Bedingungen handelt ein Individuum und interagiert mit anderen Individuen? Häufig werden dafür einfache regelbasierte Entscheidungsmodelle basierend auf Rational-Choice-Theorien (Hill 2002) verwendet, die eine Kosten-Nutzen-Berechnung zum Nutzen einer Handlung für einen Agenten durchführen. Weiterführende Theorien, wie RREEMM (Resourceful-Restricted-Evaluating-Expecting-Maximizing-Man, Lindenberg 1985), versuchen Einschränkungen bei der Entscheidungsfindung (z.B. eingeschränkte Ressourcen) zu berücksichtigen. Ansätze,

die Motivationen und Intentionen von Agenten unterscheiden möchten, basieren häufig auf dem BDI-Modell (Rao und Georgeff). Weitergehende psychologisch realistische Computermodele sind z.B. Conumat und SiMA-C (Schaat et al. 2017). In diesen Ansätzen steht die softwaretechnische Umsetzung eines Entscheidungsmodells im Vordergrund, das für die Simulation einer hohen Anzahl von Agenten – z.B. in Softwaretools wie Repast (Collier 2001) und MASON (Luke et al. 2004) – geeignet ist.

ABM zeigt somit auf, inwiefern Annahmen über die Interaktion zwischen Akteuren der Beantwortung gesellschaftlicher Fragestellungen dienen können. Abhängig von der Belastbarkeit der Annahmen hinter dem Agentenmodell eignet sich die Methodik für unterschiedlichen, aufeinander aufbauenden Nutzen im Erkenntnisprozess (siehe Abbildung 1). Die Grundlage dafür ist die Spezifikation eines Agentenmodells, das festlegt, wann es zur welchen Interaktion zwischen Agenten kommt. Diese Regeln können auf der Basis von erhobenen Daten (z.B. Korrelationen), etablierten Theorien (z.B. der Entscheidungsfindung) und neuen Hypothesen (z.B. aus Fokusgruppen) abgeleitet werden. Abhängig vom anvisierten Nutzen von ABM ist somit eine Verknüpfung mit anderen Methoden sinnvoll. Beispielsweise können die Konsistenz von Annahmen einer Delphibefragung überprüft, aus ABM resultierende Interventionshypothesen in Reallabore eingesetzt und empirische Studien angeleitet werden (siehe Abbildung 1). Gerade durch seine Vielseitigkeit

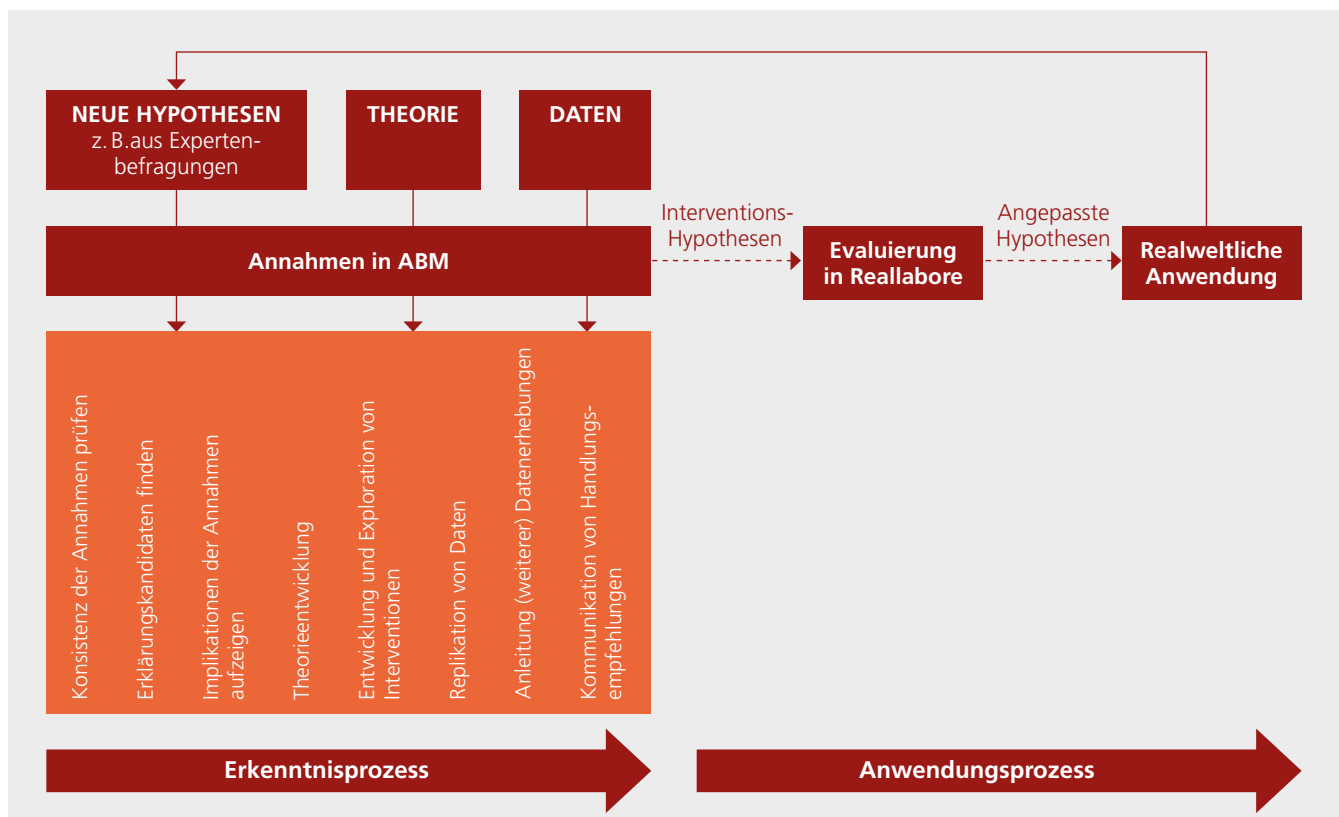


Abb. 1: Je nach anvisierten Nutzen kann ABM mit unterschiedlichen Eingangswerten arbeiten und mit anderen Methoden verknüpft werden.

kann ABM in unterschiedlichen Phasen des Erkenntnisprozesses eingesetzt werden und dabei ein inkrementelles Vorgehen begleiten (von der Hypothesenerstellung zur empirischen Validierung). In dieser Hinsicht kann ABM beim Herantasten an gesellschaftliche Fragestellungen unterstützen: Angefangen bei der Spezifikation von Forschungsfragen über Theorieentwicklung bis hin zur Exploration gesellschaftlicher Intervention. Das Ausmaß der Verwendung von ABM (und die Größe von entsprechenden Projekten) hängt somit vom Forschungsbedarf ab. Bei nicht ausreichend verstandenen gesellschaftlichen Problemen kann ABM Hinweise für die Forschungsrichtung bieten, bei vorhandenen Daten kann es einer belastbaren Exploration von Handlungsempfehlungen dienen.

3 Innovationspolitische Herausforderungen

In der Forschungs- und Innovationspolitik wird von Investitionen in Maßnahmen wie der Forschungsförderung, Förderung von Universitäts-Industrie-Kooperationen ein hoher Nutzen erwartet. Die oft nur mit starkem zeitlichen Verzug zu beobachtende Effekte dieser Maßnahmen zeigen die Grenzen der konventionellen Steuerungs-, Kontroll- und Politikfunktionen, die mit der Innovationsförderung verbunden sind (Ahrweiler et al. 2016). Gerade für die Planung im Bereich der FuE-Förderung ist die nicht-lineare Beziehung zwischen einer politischen Maßnahme und ihrer gewünschten Wirkung problematisch. Dies bedeutet hohe Umsetzungsrisiken für jede neue Politik verbunden mit der Gefahr kostspieliger Misserfolge (Ahrweiler et al. 2016). Forschungs- und Innovationspolitik muss in komplexen sozialen Systemen, die von unvorhergesehenen Ereignissen und Unsicherheit geprägt sind, Entscheidungen treffen. Diese sozioökonomische Systeme sind hochkomplexe Systeme, die in der Soziologie und den Komplexitätswissenschaften untersucht werden (vgl. Hafferty und Castellani 2009). Komplexitätsmerkmale wie Ungewissheit, Nichtlinearität, Emergenz, Pfadabhängigkeit, Kontingenz, mehrstufige und dezentrale Organisation usw. gelten insbesondere dann, wenn es um die Entwicklung neuen Wissens, seine Diffusion und seine kommerzielle Anwendung in der Innovation geht. Analytische Ansätze, die versuchen, Orientierung und Unterstützung zu bieten, müssen anerkennen, dass jegliche Prognosen und Vorhersagen über Erfolg oder Misserfolg von Innovationspolitik schwierig, wenn nicht gar unmöglich sind (Ahrweiler et al. 2016).

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Wissenschaftspolitik zunehmend auch Data Mining Ansätze einbezogen, um Einblicke in die Struktur und Entwicklung Wissenschaftsdisziplinen zu gewinnen. Zielsetzung hierbei ist stets die Entwicklung aussagefähiger Metriken und Indikatoren (Hicks et al. 2015). Aber laut Börner und Milojević (2016) hat sie keine bedeutenden Anstrengungen unternommen in mathematische, statistische

und rechnergestützte Modelle zu investieren, die durch ihrer Leistungsfähigkeit zukünftige Entwicklungen in Wissenschaft, Technologie und Innovation (STI) vorhersagen können.

Es kann bei hoher Umfelddynamik und komplexen Problemlagen politischer Herausforderungen nicht mehr von einer Linearität der Entwicklungen ausgegangen werden. Dennoch basieren Prognosemodelle mitunter auf dieser Annahme. Häufig werden Vergangenheitsdaten fortgeschrieben. Für einen fortschrittlicheren, evidenzbasierten und rechnergestützten Ansatz der Politikgestaltung ist es notwendig, potenzielle Zukünfte zu identifizieren. Dies geschieht häufig bei Prognosen, Vorausschau- oder Backcasting-Prozessen, Folgenabschätzungen, Szenario-Analysen, Frühwarnsystemen und Technologie-Roadmapping in tendenziell qualitativen, explorativen Ansätzen. Diese Ansätze tragen der Umfeld-Komplexität und -Dynamik und multikriterieller Entscheidungsfindung noch zu wenig Rechnung.

Es ist notwendig, Auswirkungen von politischen Maßnahmen strukturiert für eine Reihe zukünftig möglicher Entwicklungen zu vergleichen. Ziel ist die Steigerung der Resilienz des Systems, also dessen Fähigkeit Schocks zu kompensieren und nicht die Vorbereitung des Systems auf ein prognostiziertes Szenario. Hier setzt die agentenbasierte Modellierung (ABM) an. Sie kann die Komplexität des Innovationssystems unter Einbeziehung seiner Akteure und innovationspolitischen Rahmenbedingungen hinreichend abbilden, um fundierte politische Entscheidungen zu ermöglichen. ABM kann so politische Entscheider darin unterstützen, die Auswirkungen und Wechselwirkungen innovationspolitischer Maßnahmen besser zu verstehen. Dies kann die Effektivität und Effizienz der eingesetzten Maßnahmen und Instrument unter Umständen deutlich erhöhen. Die ABM kann entscheidungsrelevante Informationen liefern, Komplexität für Entscheider reduzieren, mögliche Handlungsoptionen aufzeigen und darauf aufbauende Strategien ableiten helfen (Ahrweiler et al. 2016).

4 Simulation förderpolitischer Maßnahmen

Ziel des folgenden Kapitels ist es, insbesondere Entscheidern und Akteuren der Forschungs- und Innovationspolitik einen Überblick über relevante Forschungsarbeiten zu dem Themenfeld Agentenbasierte Modellierung (ABM) im Kontext innovationspolitischer Maßnahmen zu geben. Über die dargestellten Forschungsarbeiten soll ein Eindruck über mögliche Anwendungsfälle gegeben werden, sowie Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der ABM für Fragestellungen der Forschungs- und Innovationspolitik gegeben werden. Für vertiefende Einblicke in die jeweiligen Forschungsbeiträge sei ausdrücklich auf die jeweiligen Autorinnen und Autoren der jeweiligen Studien verwiesen.

Dawid (2005) gibt einleitend einen umfangreichen Überblick über agentenbasierte computergestützte Forschung zur Modellierung des technologischen Wandels und der Grundmechanismen der empirischen Innovationsforschung. Eine grundsätzliche Übersicht verschiedener Stränge an Modellierungsansätzen und -werkzeugen, die verwendet wurden, um theoriebasierte Erkenntnisse über die Ursprünge und Auswirkungen von Innovation und technologischem Wandel zu gewinnen, finden sich z. B. in (Dosi 1988) und (Nelson und Winter 2002).

Ein Beispiel der ABM von Forschungsarbeiten im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland und den USA findet sich bei Hoser (2013). Mit Hilfe der agentenbasierten Modellierung wird analysiert, wie die öffentliche Drittmittelförderung die Verbreitung dieser Schlüsseltechnologie durch verschiedene Finanzierungsformen (wie „star researcher“, „research program“, „core scientists“, „any scientist“) unterstützt. Die Diffusion des Wissenschaftsfeldes wird an der sich abzeichnenden Zahl von Nanowissenschaftlern gemessen. Neben der Größe der nationalen Forschungssysteme und der Anzahl der Wissenschaftler wird die Verbreitung der Nanotechnologie an der Interdisziplinarität und der Wahrscheinlichkeit eines Wechsels der disziplinären Identität gemessen. Grundlage hierfür bilden unter anderem verschiedene Netzwerkmaße aus der Sozialen Netzwerkanalyse. Eine Übertragung des verwendeten Modells eignet sich nach Angaben der Autoren ebenfalls für die Untersuchung anderer Hochtechnologien. Die verschiedenen Finanzierungsformen beeinflussen das Verbreitungsmuster neuer Technologien in der akademischen Welt, insbesondere im größeren Forschungssystem der USA. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass für die Verbreitung der Nanotechnologie das Vorhandensein von Spitzenwissenschaftlern der wichtigste Einflussfaktor ist.

In dem konzeptionellen Beitrag von Paredes-Frigoletti et al. (2015) wird eine multikriterielle Entscheidungsanalyse im noch vergleichsweise jungen Forschungsgebiet Responsible Research and Innovation (RRI) verwendet, das insbesondere durch die Europäische Kommission im Horizon 2020 Rahmenprogramm gefördert wird, um komplexere Zusammenhänge zu simulieren. Das eingesetzte ABM Modell wurde als strategische Entscheidungshilfe sowohl für innovationspolitische Entscheidungsträger und Innovationsmanager, als auch als Ex-ante-Bewertung der Auswirkungen der innovationspolitischen Maßnahmen im Bereich der RRI-Governance konzipiert. Diese sind mit komplexen Entscheidungsproblemen konfrontiert, die sich aus der Beteiligung von Organisationen der Zivilgesellschaft an Innovationsangelegenheiten ergeben, wie es der RRI-Ansatz explizit fordert. Die von den Autoren vorgeschlagene ABM soll es Entscheidungsträgern ermöglichen, sich über strategische Entscheidungen

hinsichtlich der Steuerung von RRI, also verantwortungsvoller Forschung und Innovation, zu informieren. Als Agenten auf der Mikro-, Meso- und Makro-Ebene werden Förderinstrumente, -bekanntmachungen, forschende Akteure (KMU, Großunternehmen und Forschungseinrichtungen), Forschungsanträge, Konsortien, Projekte und Teilprojekte vorgeschlagen (Ahrweiler et al. 2016).

Das von Ahrweiler et al. (2016) entwickelte agentenbasierte Modell zur Simulation von Wissensdynamiken in Innovationsnetzwerken (SKIN) soll die netzwerkbasierte Wissensgenerierung und -verbreitung simulieren. Es geht zurück auf einen ersten Prototyp von Gilbert et al. (2001), wurde stetig weiterentwickelt und für eine Reihe von Politikmodellierungsstudien eingesetzt.¹ Die bisher größte Anwendung des SKIN-Modells stellt die Folgenabschätzung und Ex-ante-Evaluierung der europäischen Förderpolitik im Forschungsbereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) dar. Die entsprechende Version des Modells, die als INFO-SKIN bezeichnet wird, wurde 2011 für die Generaldirektion Informationsgesellschaft und Medien der Europäischen Kommission (GD INFSO) entwickelt, um die Beziehung zwischen Forschungsförderung und den Zielen der EU-Innovationspolitik zu informieren. Die Veränderung der Parameter innerhalb des Modells entspricht der Anwendung verschiedener politischer Optionen in der realen Welt. Dies ermöglicht ein modellbasiertes „Durchspielen“ von Optionen: Über Änderungen von Elementen des Modells, wie etwa die Höhe der Finanzierung, die Größe von Konsortien oder die Förderung bestimmter Teilbereiche des Innovationssystems, können die Auswirkungen dieser Maßnahmen im Modell beobachtet und so besser abgeschätzt werden. Die Anwendungen des SKIN-Modells verwenden empirische Daten. Die Qualität der Simulationen werden durch die Verwendung empirischer Daten zur Modell-Kalibrierung verbessert. So wurde das INFO-SKIN-Modell anhand von Daten des siebten EU Forschungsrahmenprogramm (RP7) verbessert. Das Modell von Ahrweiler et al. (2016) verwendete empirische Informationen über die Anzahl der Teilnehmer und die Anzahl der finanzierten Projekte sowie Daten über die Projektgröße (gemessen an der Anzahl der Teilnehmer), die Dauer und die durchschnittliche Finanzierung. Durch die Verwendung dieser Daten im Modell konnte laut den Autorinnen und Autoren der Studie eine gute Übereinstimmung mit empirischen Daten von EU-finanzierten IKT-Netzwerken im RP7 erzielt werden, weswegen es sich für die Durchführung von Simulationsexperimenten eignete. Die Ergebnisse dieser Experimente zeigten wahrscheinliche Szenarien als politische Optionen für Horizon 2020 auf und somit, dass eine realistische Modellierung mit einer engen Verbindung zwischen Daten und Modell Innovationspolitik beraten kann, so Ahrweiler et al. (2016).

1 https://www.magazin.uni-mainz.de/10729_DEU_HTML.php, zuletzt geprüft am 02.04.2020

5 Simulation medizinischer Maßnahmen

Das Gesundheitssystem in Deutschland ist durch ein hohes Ausmaß an Heterogenität und Komplexität geprägt. Gesundheitseinrichtungen sind nicht nur sehr heterogenen Außenbedingungen unterworfen, sie weisen im Vergleich zu anderen gesellschaftlichen Bereichen selbst auch sehr heterogene innere Strukturen auf. Hier wird auch vom Innovationsparadoxon gesprochen. Einerseits streben die Organisationen nach effizienter Arbeitsweise und bauen entsprechende Strukturen auf, andererseits können sie nur langfristig bestehen, wenn sie sich durch Innovationen neuen Umgebungsbedingungen anpassen können. Mit Blick auf den hohen Autonomiegrad der einzelnen Berufsgruppen im Gesundheitswesen ist der Widerstand gegenüber von außen geforderten Prozess- und Strukturinnovationen besonders ausgeprägt (Schrappe 2018). Hinzu kommen die Bedarfe unterschiedlicher Patientengruppen. Einerseits sollte diese Heterogenität (durch geeignete Koordinationsmaßnahmen) möglichst keine negative Auswirkung auf die Versorgung haben, andererseits müssen im Umgang mit Patienten unterschiedliche Bedarfe mitberücksichtigt werden. Bislang konstatiert Matthias Schrappe, dass „...immer noch Defizite in der organisationstheoretischen Modellbildung vorliegen, die den Spezifika des Gesundheitswesens und seiner Organisationen Rechnung tragen würde.“ (2018, S. 136). Das Zusammenspiel der vielfältigen Akteure im Gesundheitswesen kann durch den Einsatz von ABM abgebildet werden und gilt insbesondere für organisatorische Fragestellungen als besonders geeignet (Isern und Moreno 2016). Gerade in diesem stark reglementierten Bereich mit hoher Heterogenität und Komplexität ist eine Einschätzung der Auswirkung regulatorischer Änderungen besonders wertvoll. Wichtige regulatorische Entscheidungen sollten dementsprechend durch geeignete Mittel vorab informiert und entsprechend untermauert werden (Barnes et al. 2013). Folgenabschätzung organisationaler Veränderungen oder Veränderungen der Rahmenbedingungen sind unter realen Bedingungen im Gesundheitswesen z. B. aus ethischen oder Kostengründen häufig nicht machbar. Hier bietet sich eine ABM an.

Das Projekt ProHTA (Prospective Health Technology Assessment) setzt beispielsweise ABM ein, um die Auswirkungen der Einführung von Mobile Stroke Units (MSU), z. B. auf die Qualität und Kosten der Versorgung vorab abwägen zu können (Kolominsky-Rabas et al. 2015). Dafür wurden mögliche Patienten und zehn MSU (als Agenten) in einer Stadt der Größe Berlins simuliert. Die Parameter des Modells betreffen in erster Linie demografische Werte, die Verortung der MSU und die Dauer zur Erreichung von möglichen Patienten abhängig vom Verkehr. Die Validierung erfolgte durch Experteneinschätzungen des Modells, der Datenquellen und der Resultate. Diese zeigten das Potenzial von MSU zur Reduktion der Zeit vom Notfallanruf bis Therapieentscheidung um 49 Minuten. Die Thrombolyserate (medika-

mentöse Auflösung des Thrombus) kann durch den Einsatz von MSU zwar nur von 10 % auf 11,6 % gesteigert werden, jedoch bringt die Steigerung eines frühzeitigen Therapiestarts (von 0,2 % zu 16,6 %) eine Verbesserung der funktionalen Leistung von Patienten im Alltag. Durch solche Folgenabschätzungen der Einführung von MSU mittels ABM kann der Nutzen dieser Maßnahme kommuniziert und so Innovationswiderstände im Gesundheitswesen überwunden werden.

Der Einsatz von neuen Technologien ist auch eine Frage der Ressourcenallokation. Gerade wenn der Bedarf an Versorgungsleistungen vorab schwer einzuschätzen ist, wie in Notfallambulanzen, ist die Simulation unterschiedlicher Szenarien und mögliche Maßnahmen hilfreich, um die Versorgungsqualität bei fluktuierenden Ressourcen (Personal, Geräte, Räume etc.) und Patientenströmen aufrechterhalten zu können. Dadurch können Auswirkungen auf Kennzahlen wie Wartezeiten, Aufenthaltsdauer, Arbeitsbelastung und Kosten vorab eingeschätzt werden (Kanagarajah et al. 2010) – insbesondere unter welchen Bedingungen die Grenzen dieser Kennzahlen überschritten werden.

Ein weiterer typischer Einsatzbereich von ABM liegt in der Epidemiologie und Erforschung geeigneter Impfmaßnahmen (Barnes et al. 2013, 55 ff.). Durch den routinemäßigen Einsatz von Impfungen konnten und können Krankheiten sowie die damit assoziierten Komplikationen vermieden bzw. abgeschwächt werden. Aus gesellschaftlicher Sicht können Schutzimpfungen Epidemien verhindern, wenn ein gewisser Durchimpfungsgrad der Bevölkerung erreicht wird. Dadurch wird ein kollektiver Impfschutz erreicht, mit dem dann auch vulnerable Personengruppen geschützt sind, die aus medizinischen Gründen nicht geimpft werden können. Zu diesen vulnerablen Gruppen können multimorbide oder immunsupprimierte Personen, Hochbetagte oder auch Kleinkinder gehören. Alle geimpften Personen tragen mit dazu bei, vulnerable Personengruppen zu schützen. Hier spricht man von dem Prinzip der Herdenimmunität (Robert Koch Institut 2019). Für die Krankheiten Masern, Mumps, Röteln, Pertussis und Hepatitis B müsste beispielsweise eine Impfquote von 95 % erreicht werden. Die Impfquoten in Deutschland sind für eine Herdenimmunität aber häufig nicht hoch genug. Die Folgen sind immer wieder Ausbrüche von Krankheiten, die als besiegt gelten. So gab es im ersten Halbjahr 2019 in Deutschland fast 500 Masernfälle (Uhlmann 2019).

Methoden zur Durchführung und Berücksichtigung von Modellierungen zur Vorhersage epidemiologischer und gesundheitsökonomischer Effekte von Impfungen wurden bereits vom Robert Koch-Institut (RKI) beschrieben (2016), jedoch ohne explizite Berücksichtigung von ABM. Neben der Simulation der Ausbreitung von Infektionskrankheiten mittels epidemiologischer Modelle können jedoch mittels ABM Unterschiede in der

Bevölkerung eingehender modelliert werden. Verglichen mit alternativen Modellierungsansätzen können somit Maßnahmen zur Eindämmung von Neuinfektionen und Minimierung der Todesfälle bei einer heterogenen Bevölkerung individueller gestaltet und ausführlicher getestet werden. Beispielsweise hat im Kontext der H1N1-Influenza-Pandemie das US-Department of Health and Human Services die Unterstützung von ABM in Anspruch genommen, um passende Maßnahmen zu informieren (Lee, Bruce Y. et al. 2010). Konkret ging es darum, welche Risikogruppen zuerst geimpft werden sollten, um die Anzahl an Neuinfektionen einzudämmen. Dafür wurden Populationsstatistiken der Metropol Region Washington DC herangezogen und das ansteckungsrelevante Verhalten von über sieben Millionen Agenten (in diesem Fall Menschen) im Haushalt, an Arbeitsplätzen, in Gesundheitseinrichtungen, Schulen und öffentlichen Plätzen simuliert. Neben Annahmen aus etablierten epidemiologischen Modellen wurden Statistiken von vergangenen Pandemien herangezogen (z. B. über Krankenhausaufenthalte und Impfwirksamkeiten). Die Verwendung von ABM diente hierbei insbesondere der Berücksichtigung individueller Unterschiede der Einwohner, vor allem bei ihrem Verhalten und den Übertragungswegen. Als Resultate zeigte die Simulation die Auswirkung der Erstimpfung von Teilgruppen (z. B. spezifische Altersgruppen) auf die Anzahl der Todesfälle, der Neuinfektionen und der Kosten. Impfmaßnahmen werden in Simulationen auch im Zusammenhang mit anderen Maßnahmen zur Eindämmung von Neuinfektionen erforscht (Liu et al. 2015). Dadurch können Aussagen zur notwendigen Durchimpfungsrate mit und ohne begleitenden Maßnahmen getroffen werden, z. B. zur Nachvollziehbarkeit und Eindämmung von Kontakten Betroffener. Auch der Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger nimmt ABM in Anspruch, um die Auswirkung von bevorzugten Impfungen (z. B. von Kleinkindern) auf den Verlauf der Ausbreitung von Pneumokokken zu erforschen (dwh simulation services 2020). Um valide Aussagen über die Auswirkungen unterschiedlicher Impfstrategien treffen zu können, wurde ein Populationsmodell aufbauend auf den Daten der Statistik Austria verwendet, (Bicher et al., 2018) sowie Annahmen über typische Tagesabläufe (Schule, Arbeit), Kontaktmuster basierend auf Studien zu Infektionsausbreitung (Mossong et al. 2008), bekannte Infektionsraten und Krankheitsverläufe abhängig von Inkubationszeit, Ausbruchswahrscheinlichkeit etc. (z. B. wirken unterschiedliche Pneumokokken-Stämme unterschiedlich auf Altersgruppen). Das Modell operiert neben bestehenden Daten somit mit Annahmen über den Tagesablauf von potenziellen Patienten, z. B. ab wann sie ansteckend sind, ab wann sie Symptome bemerken und nicht mehr zur Arbeit bzw. Schule gehen, sowie ab wann sie sich behandeln lassen (Email-Kommunikation Nikolas Popper, 20.01.2020). Durch

das Berücksichtigen dieser Komplexität ist ABM besonders gut geeignet, die häufig nichtlinearen Auswirkungen von Maßnahmen (z. B. kleiner Eingriff an der „richtigen“ Stelle mit großer Wirkung) aufzuzeigen. Das Resultat der Simulationen gab den Auftraggebern weitere Erkenntnisse über die bevorzugte Reihenfolge von Impfungen (gegen unterschiedliche Pneumokokken-Stämme) für unterschiedliche Altersgruppen.

ABM wird auch dafür eingesetzt, unterschiedliche Kommunikationsstrategien zu simulieren. Beispielsweise erforschte das TELL-ME-Projekt (Barbrook-Johnson et al. 2017) die Auswirkungen unterschiedlicher Kommunikationspläne während Influenza-Epidemien. Dementsprechend können – z. B. anhand der Empfehlungen des RKI (2007) – die Wirksamkeit von Argumenten und deren Ausbreitung in unterschiedlichen sozialen Gruppen, auch abhängig von Annahmen zu Unterschieden bei der Impfmüdigkeit und -gegnerschaft, simuliert werden. Dabei kann die unterschiedliche Risikowahrnehmung von Personen berücksichtigt werden, und unterschiedliche Kommunikations-Heuristiken aus dem Gesundheitsbereich getestet werden (vgl. AOK). Auch die Eignung unterschiedlicher Informationskanäle bei unterschiedlichen sozialen Gruppen (soziale Netzwerke, social media Kanäle oder anderen Medien) lässt sich gut mit ABM erforschen. Da ABM besonders geeignet ist, die Meinungsdynamiken im sozialen Kontext zu simulieren, kann damit erforscht werden, wie wirksame Aufklärungskampagne aussehen könnten, um in einer heterogenen Gesellschaft Akzeptanz für Impfungen zu schaffen (unter anderem durch Schließung von Informationslücken) und dadurch Herdenimmunität zu erreichen.

Auch in der Covid-19-Pandemie wurden Computersimulationen mangels empirischer Evidenzen und Studien verwendet, um mögliche Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zeitnah aufzuzeigen. Die Ausprägung dabei verwendeter (durch Experten gestützte) Annahmen, insbesondere deren Wechselwirkungen, konnte dabei in Simulationen eingeschätzt und dadurch Handlungsoptionen verglichen werden. Dies haben z. B. Simulationsstudien des Imperial College London (Ferguson et al., 2020) zeigen können.

Auch in Deutschland befassen sich Arbeitsgruppen mit der Simulation von Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie, beispielsweise die Universität Trier und das DFKI.² Die dabei verwendeten Modellparameter speisen sich insbesondere aus Informationen und Daten des Imperial College in London, der Europäischen Infektionsschutzbehörde (ECDC) und des Robert-Koch-Instituts. Um weitere Daten zu erheben, wird zurzeit eine Umfrage durchgeführt.

2 <https://www.uni-trier.de/index.php?id=73127>, zuletzt geprüft am 15.04.2020.

Aber auch der Mehrwert einfacher agentenbasierter Computersimulationen für die Kommunikation der Folgen von Maßnahmen wurde in der Covid-19-Pandemie deutlich. So zeigen einfache Simulationen z. B. in (Stevens 2020) warum sich Covid-19 durch sozialen Kontakt exponentiell ausbreitet und die Unterschiede von Quarantänemaßnahmen und Kontaktvermeidung für die Ausbreitung einer Infektionskrankheit. Wie so oft werden dadurch in agentenbasierten Simulationen kontraintuitive Auswirkungen von einfachen Annahmen deutlich, wenn diese sich durch zahlreiche soziale Interaktionen zu einem gesellschaftlichen Ereignis ausprägen.

6 Fazit in einer nicht-vorhersagbaren Welt

Die Auswirkungen innovationspolitischer Maßnahmen sind aufgrund der Komplexität der Welt und ihrer gesellschaftlichen Systeme zwar nicht präzise vorhersagbar. Trotzdem braucht Innovationspolitik eine möglichst fundierte Entscheidungsgrundlage, um ihre Steuerfunktion soweit möglich wahrnehmen zu können. Agentenbasierte Computersimulation kann dabei unterstützen, die Auswirkungen möglicher Handlungsoptionen in Szenarien zu vergleichen und dadurch abzuwägen. Dies kann mangels alternativer Methoden und fehlender empirischer Daten hilfreich sein, aber auch komplementär zu anderen Methoden eingesetzt werden. Dabei kann der Einsatz und Nutzen von ABM an den Bedarf der Evaluierung gesellschaftlicher Maßnahmen angepasst werden. Dementsprechend können z. B. Implikationen und Wechselwirkungen von Expertenannahmen aufgezeigt werden, um ein Lagebild und dessen voraussichtliche Entwicklung im Fall von Epidemien besser einschätzen zu können. Bereits ohne empirische Daten kann somit bei vorhandenen validen Annahmen das Spektrum von Handlungsoptionen exploriert werden. Insbesondere können Handlungspfade und Kippunkte zwischen ihnen sondiert werden. Bei vorhandenen Daten, z. B. zur Forschungsförderung, kann ABM wiederum zur Hypothesenbildung verwendet werden, um darauf aufbauend die Auswirkungen von Änderungen dieser Daten in innovationspolitischen Maßnahmen abzuwägen. Neben der Erforschung gesellschaftlich wirksamer Maßnahmen können diese mittels ABM auch kommuniziert werden. Kontraintuitive Ereignisse, wie die exponentielle Diffusion eines Virus und die Auswirkungen unterschiedlicher Quarantänemaßnahmen, können dadurch in Simulationen erfahrbar dargestellt werden.

Überall dort, wo Interaktionen zwischen Individuen gesellschaftliche Ereignisse verursachen, sind agentenbasierte Computersimulationen somit geeignet, um Maßnahmen zu explorieren. Die notwendige Granularität dieser Maßnahmen kann durch den Schwerpunkt von ABM – der Berücksichtigung individueller Unterschiede der Akteure – in Simulationen eruiert werden. So können entsprechende Maßnahmen auf der Mikro-

Meso- oder Makroebene verankert werden. Beispielsweise können sowohl gruppenspezifische Unterschiede, als auch individuelle Verhaltensweisen, die sich aus der Kombination von demographischen Parameter und Parameter vergangenen Verhaltens (z. B. Kontakthistorie) ergeben, für Maßnahmen während Epidemien (Impfpriorität, Quarantänedringlichkeit) ausschlaggebend sein.

Bei all dem ist auch ABM keine Glaskugel, kann aber die nebelige Sicht in die Zukunft ein wenig klären, um gangbare Wege zu befestigen. Ihr größtes Potenzial schöpft sie in Kombination mit anderen Methoden aus, die sie speisen oder von ihr gespeist werden. Dabei sind neue Kombinationen mit Expertenbefragungen und Reallaboren denkbar, um die jeweiligen methodischen Stärken zu verwenden und die Schwächen durch komplementäre Methoden auszugleichen.

Literaturverzeichnis

- Ahrweiler, Petra; Gilbert, Nigel; Pyka, Andreas (2016): *Joining Complexity Science and Social Simulation for Innovation Policy. Agent-based Modelling using the SKIN Platform*. 1st ed. Newcastle-upon-Tyne: Cambridge Scholars Publishing, zuletzt geprüft am 25.02.2020.
- AOK: Pressekonferenz „Faktenboxen“ des AOK-Bundesverbandes. Online verfügbar unter https://www.aok-bv.de/imperia/md/aokbv/presse/pressemitteilungen/archiv/2015/04_pk_faktenboxen_stm_gigerenzer_web.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Barbrook-Johnson, Peter; Badham, Jennifer; Gilbert, Nigel (2017): Uses of Agent-Based Modeling for Health Communication: the TELL ME Case Study. In: *Health Communication* 32 (8), S. 939–944.
- Barnes, Sean; Golden, Bruce; Price, Stuart (2013): *Applications of Agent-Based Modeling and Simulation to Healthcare Operations Management*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Handbook of Healthcare Operations Management).
- Bicher, Martin; Urach, Christoph; Popper, Niki (2018): GEPOC ABM: A Generic Agent-Based Population Model for Austria. In: *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, Gotheburg, Sweden: IEEE.
- Börner, Katy; Milojević Stasa (2016): *Modelling Science, Technology, Innovation*.
- Collier, Nick (2001): Repast: An extensible framework for agent simulation. In: *Natural Resources and Environmental Issues* 8.
- Dawid, Herbert (2005): *Agent-based Models of Innovation and Technological Change*. Working Paper No. 88 – Center for Empirical Macroeconomics.
- Dosi, Giovanni (1988): Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. In: *Journal of Economic Literature* 26 (3), S. 1120–1171. Online verfügbar unter www.jstor.org/stable/2726526, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- dwh simulation services (2020): *Simulation der Pneumokokkenimpfung für Kinder in Ös*. Online verfügbar unter <https://www.sozialversicherung.at/cdscontent/load?contentid=10008.715057&version=1391184565>, zuletzt aktualisiert am 30.03.2020.
- Ferguson, Neil M.; Laydon, Daniel; Nedjati-Gilani, Gemma et. al.: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College London. Online verfügbar unter <https://science-business.net/sites/default/files/inline-files/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Hafferty, Frederic William; Castellani, Brian (2009): *Sociology and Complexity Science. A New Field of Inquiry*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Understanding Complex Systems). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10288774>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Hicks, Diana; Wouters, Paul; Waltman, Ludo; Rijcke, Sarah de; Rafols, Ismael (2015): Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. In: *Nature* 520 (7548), S. 429–431. DOI: 10.1038/520429a.
- Hill, Paul B. (2002): *Rational-Choice-Theorie*. 1. Aufl.: transcript.
- Hoser, Nadine (2013): Public finding in the academic field of nanotechnology: a multi-agent based model. In: *Computational & Mathematical Organization Theory* (Volume 19, Issue 2), S. 253–281.
- Isern, David; Moreno, Antonio (2016): A Systematic Literature Review of Agents Applied in Healthcare. In: *Journal of Medical Systems* 40 (43). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-015-0376-2>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Kanagarajah, A. K.; Lindsay, P.; Miller, A.; Parker, D. (Hg.) (2010): *An Exploration into the Uses of Agent-Based Modeling to Improve Quality of Healthcare*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Unifying Themes in Complex Systems).
- Kolominsky-Rabas, Peter L.; Djanatliev, Anatoli; Wahlster, Philip; Gantner-Bär, Marion; Hofmann, Bernd; German, Reinhard et al. (2015): Technology foresight for medical device development through hybrid simulation: The ProHTA Project. In: *Technological Forecasting and Social Change* 97, S. 105–114.
- Lee, Bruce Y. et. al. (2010): A computer simulation of vaccine prioritization, allocation, and rationing during the 2009 H1N1 influenza pandemic. In: *Vaccine* 28 (31), S. 4875–4879.
- Lindenberg, Siegwart (1985): An assessment of the new political economy: Its potential for the social sciences and for sociology in particular. In: *Sociological Theory* 3, S. 99–114.

- Liu, F.; Enanoria, W.T.A.; Zipprich, J. et al. (2015): The role of vaccination coverage, individual behaviors, and the public health response in the control of measles epidemics: an agent-based simulation for California. In: *BMC Public Health* 15 (447).
- Luke, Sean; Cioffi-Revilla, Claudio; Panait, Liviu; Sullivan, Keith (Hg.) (2004): MASON: A New Multi-Agent Simulation Toolkit (Proceedings of the Swarm Workshop).
- Mossong, J.; Hens, N.; Jit, M.; Beutels, P.; Auranen, K.; Mikolajczyk, R. (2008): Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. In: *PLOS Med* 5 (3).
- Nelson, R. R.; Winter, S. G. (2002): Evolutionary Theorizing in Economics. In: *Journal of Economic Perspectives* 16, 23-46.
- Paredes-Frigolett, Harold; Gomes, Luiz Flávio Autran Monteiro; Pereira, Javier (2015): Governance of Responsible Research and Innovation: An Agent-Based Model Approach. In: *Procedia Computer Science* 55, S. 912–921. DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.113.
- Rao, Anand S.; Georgeff, Michael P.: BDI Agents: From Theory to Practice. In: Samer Schaat, Wander Jager und Stephan Dickert (Hg.): Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems.
- Robert Koch Institut (2007): Antworten des Robert Koch-Instituts und des Paul-Ehrlich-Instituts zu den 20 häufigsten Einwänden gegen das Impfen. Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Bedeutung/Schutzimpfungen_20_Einwaende.html;jsessionid=FB8D95F719BC4C59B870F13B16424994.1_cid298, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Robert Koch Institut (2016): Methoden zur Durchführung und Berücksichtigung von Modellierungen zur Vorhersage epidemiologischer und gesundheits-ökonomischer Effekte von Impfungen für die Ständige Impfkommission. 1. Aufl. Berlin.
- Robert Koch Institut (2019): Epidemiologisches Bulletin Nr. 18. aktuelle daten und informationen zu infektionskrankheiten und public health. Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2019/Ausgaben/18_19.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Schaat, Samer; Jager, Wander; Dickert, Stephan (2017): Psychologically Plausible Models in Agent-Based Simulations of Sustainable Behavior: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Agent-Based Modeling of Sustainable Behaviors).
- Schrapppe, Matthias (2018): APS-Weißbuch Patientensicherheit. 1. Aufl.: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Stevens, Harry (2020): Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve”. Hg.v. Washington Post. Online verfügbar unter <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Uhlmann, Berit (2019): Acht Tatsachen zur Masern-Impfung. Hg.v. Süddeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/masern-impfung-impfpflicht-1.4528233>, zuletzt geprüft am 02.04.2020.

Herausgeber

Prof. Dr. Volker Wittpahl
Institut für Innovation und
Technik (iit) in der VDI/VDE
Innovation + Technik GmbH

Dr. Christoph Bogenstahl
Tel: +49 (0)30 310078-453
E-Mail: bogenstahl@iit-berlin.de

Sebastian Weide
Tel: +49 (0)30 310078-5510
E-Mail: weide@iit-berlin.de

Dr. Kerstin Goluchowicz
Tel: +49 (0)30 310078-5769
E-Mail: goluchowicz@iit-berlin.de

Kontakt

Dr. Samer Schaat
Tel: +49 (0)30 310078-5766
E-Mail: schaat@iit-berlin.de

Dr. Tatjana Heinen-Kammerer
Tel: +49 (0)30 310078-5570
E-Mail: heinen-kammerer@iit-berlin.de

Layout: Poli Quintana
Bildnachweis: Adobe Stock/Vjom
iit perspektive Nr. 49

