

# Kognitive Sozialsimulation für das COVID-19-Krisenmanagement Social Simulation for Analysis of Infectious Disease Control (SoSAD)

**Whitepaper, Version 2.0**  
**31. August 2020**

Ingo J. Timm<sup>1,2</sup>, Jan Ole Berndt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)  
FB Smarte Daten & Wissensdienste (Prof. Dengel)  
Themenfeld **Kognitive Sozialsimulation**  
DFKI Kaiserslautern, Außenstelle Trier, Behringstraße 21, 54296 Trier  
[ingo.timm@dfki.de](mailto:ingo.timm@dfki.de)

<sup>2</sup> **Universität Trier**, FB IV – Informatikwissenschaften  
Professur für **Wirtschaftsinformatik I**  
Universitätsring 15, 54296 Trier  
[{itimm|berndt}@uni-trier.de](mailto:{itimm|berndt}@uni-trier.de)

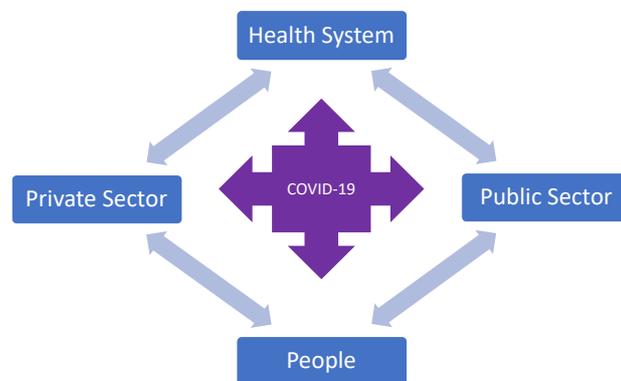
**Abstract.** SoSAD ist ein sogenanntes agentenbasiertes Simulationsmodell, in welchem alle Personen einer Population mit jeweiligen Familienzusammenhängen sowie typischen Tagesabläufen modelliert werden. Die Tagesabläufe beinhalten etwa Berufstätigkeit, Schulbesuche oder Freizeitaktivitäten, bei denen sich diese Agenten begegnen und es somit zu infektionsrelevanten Kontakten kommen kann. Kombiniert mit einem Krankheitsmodell (hier für COVID-19) kann so die Ausbreitung einer Infektionskrankheit abhängig von den Aktivitäten der Bevölkerung simuliert werden. Dies erlaubt wiederum Analysen über die Wirksamkeit und mögliche Auswirkungen von Maßnahmen der Pandemiebekämpfung, welche die möglichen Aktivitäten der Bevölkerung einschränken (z.B. durch Schulschließungen) und somit die Kontaktmöglichkeiten verändern. Dadurch lassen sich daraus resultierende Reproduktionsraten der Krankheit aus der Simulation ermitteln, welche in gängigen epidemiologischen Modellen geschätzt oder aus der Vergangenheit beobachtet werden müssen. Zudem ist SoSAD als kognitive Sozialsimulation angelegt, womit auch das Nichtbeachten von Auflagen oder die freiwillige Selbstquarantäne im Fall von wahrgenommenen Symptomen individuell simuliert werden können. Hiermit wird auch die Verfügbarkeit von Information, die Lageeinschätzung innerhalb der Bevölkerung und die gegenseitige Beeinflussung von Personengruppen in ihrem Verhalten in die Analyse einer Lage miteinbezogen.

## 1 Einleitung

Moderne Gesellschaften sind zunehmend durch wirtschaftliche, soziale und technologische Netzwerke miteinander verbunden. Moderne Transportmittel und Mobilität verringern die Entfernung zwischen Menschen, Orten und Ländern drastisch. So verringert sich die Reisezeit von Informationen, Gütern und Menschen kontinuierlich und ermöglicht in den letzten Jahrzehnten eine global verteilte höhere Spezialisierung mit zunehmender Effizienz in weltweiten Produktions- und Dienstleistungsnetzwerken. Allerdings können sich in diesen Netzwerken auch Volatilität, Störungen oder Fehler mit hoher Geschwindigkeit verbreiten, was zu systemischen Risiken führt, bei denen sich kleine lokale Ereignisse potenziell zu Situationen aufschaukeln, die auf globaler Ebene außer Kontrolle geraten (Lorig et al., 2019). Da die Technologie, d.h. die Informatik und die Wirtschaftsinformatik, Netzwerke und Auswirkungen beschleunigt, hat die Gesellschaft für Informatik e.V. die Beherrschung systemischer Risiken in weltweiten Netzwerken als eine der großen Herausforderungen für die frühen 2020er Jahre in der Informatik und Wirtschaftsinformatik identifiziert. In der COVID-19-Pandemie wird deutlich, dass selbst eskalierende Infektionskrankheiten als systematische Risiken betrachtet werden müssen, die nicht nur Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit haben, sondern nahezu alle Bereiche des menschlichen Lebens betreffen. Die Beherrschung von Pandemieszenarien ist daher eine der großen Herausforderungen für die (Wirtschafts-)Informatik, insbesondere für die künstliche Intelligenz.

Die Corona-Pandemie unterscheidet sich von vorhergehenden Epidemien insbesondere dadurch, dass einerseits Patientinnen und Patienten ohne Symptome bereits infektiös und andererseits beinahe keine Bürgerinnen und Bürger immunisiert sind. Das Krisenmanagement muss immer wieder Maßnahmen so ausrichten, dass eine Balance zwischen Belastung des Gesundheitssystems und Belastung der Gesellschaft und Wirtschaft gefunden wird. Hier mangelt es an Werkzeugen zur Entscheidungsunterstützung: Eine Pandemie ist ein „seltenes Ereignis“, für das statistische Verfahren nur eingeschränkt zur Prognose geeignet sind, da die Datenlage zu-nächst dürftig ist und sich ständig ändert. Die Einführung oder Lockerung von Eindämmungsmaßnahmen beeinflusst diese Dynamik, je nachdem wie die Bürgerinnen und Bürger darauf reagieren und welche Ansteckungswege in Schulen, Arbeitsplätzen und dem öffentlichen Leben somit entfallen oder nach wie vor auftreten. Um die Eignung von Maßnahmen und geeignete Zeitpunkte für ihr In- und Außerkräfttreten zu beurteilen, bedarf es einer Analyse und Prognose dieser Zusammenhänge durch Computersimulation. Bezüglich möglicher Maßnahmen und deren Wirkung auf das Infektionsgeschehen sowie auf die wirtschaftlichen Folgen bedarf es kompetenter wissenschaftlicher Beratung. Da eskalierende Infektionskrankheiten mit weltweiter Ausbreitung glücklicherweise sehr selten auftreten, sind nur wenige belastbare Daten und Erkenntnisse über die Wirksamkeit von Eindämmungsmaßnahmen vorhanden. Zusätzlich sind die Auslöser von Epidemien oder Pandemien zum Zeitpunkt der Ausbreitung häufig noch wenig bekannt oder untersucht.

Das Krisenmanagement in einer Pandemiesituation hängt von den politischen Strukturen des jeweiligen Landes ab: Die WHO legt sechs Phasen fest entlang der drei wesentlichen Zeiträume: Interpandemie, Pandemiealarm und Pandemie fest (WHO, 2005). Der globale Pandemieplan wird durch einen nationalen Plan für Deutschland sowie weitere Pläne auf der Ebene der Bundesländer ergänzt. Auf regionaler Ebene sind die kreisfreien Städte und Landkreise mit ihren Gesundheitsämtern für die lokale Umsetzung der nationalen oder bundesweiten Entscheidungen verantwortlich und müssen gegebenenfalls über weitere lokale Maßnahmen in ihrem Zuständigkeitsbereich entscheiden. Auch Großbetriebe müssen Notfallpläne erstellen. Diese Pläne werden jedoch hauptsächlich zur Risikoabschätzung verwendet und haben eine starke Einschränkung: Die meisten dieser Pläne werden nicht wirklich für die Anwendung erstellt, und Tests werden nicht regelmäßig organisiert.



**Fig. 1.** Dilemma des Krisenmanagements

Die Bekämpfung eines Virus in globalen Pandemien ist jedoch eine ernsthafte Herausforderung und erfordert eine Anpassung des Verhaltens und der Prozesse durch fast jeden Teil der Gesellschaft. Nicht nur die Regierung, die für die Öffentliche Sicherheit zuständig ist, sondern auch der private und der öffentliche Sektor sowie die Menschen selbst müssen so schnell wie möglich reagieren und handeln. Unmittelbarer individueller Schutz mit Verhaltensänderung muss eingerichtet werden, noch bevor alle Verwaltungsvorschriften greifen. So ist es z.B. schon zu Beginn einer Pandemie wichtig, dass betroffene Länder, Regionen, Gemeinden oder Unternehmen auf die ersten Anzeichen der Bedrohung reagieren und Vorsichtsmaßnahmen ergreifen, auch wenn die offizielle Pandemie-Erklärung der WHO noch aussteht. Diese kann nämlich erst dann erfolgen, wenn der Nachweis einer globalen Ausbreitung und damit bereits eine eskalierende Situation vorliegt.

Die Organisation und Kapazität des Gesundheitssystems spielen dabei eine entscheidende Rolle. Dramatisch wird die Situation, wenn das Gesundheitssystem nicht mehr in der Lage ist, Patienten mit schweren Symptomen zu versorgen. In einer Pandemiesituation müssen die öffentliche Gesundheit, die Kapazität und Belastung des Gesundheitssystems einerseits und die Auswirkungen auf den privaten und öffentlichen Sektor andererseits gegeneinander abgewogen werden (siehe Abbildung 1).

Dieses stellt ein Dilemma für das Krisenmanagement dar: Eine Überlastung des Gesundheitssystems wird zu schwerwiegenden Folgen, Todesfällen und Verlängerungen von Infektionssymptomen führen. In der Folge sinkt die Zahl der verfügbaren Mitarbeiter im öffentlichen und privaten Sektor und destabilisiert diese Sektoren. Die Schließung von Schulen oder Kindergärten hat ähnliche Auswirkungen auf Wirtschaft und Verwaltung, hat jedoch das Potenzial, die Übertragungsgeschwindigkeit zu verringern. Darüber hinaus schwächen Betriebsschließungen mit Unterbrechung der systemischen Produktions- und Logistikketten das Gesundheitssystem durch den Mangel an Medikamenten, Instrumenten, hygienischem Material oder Lebensmitteln. Ein pragmatischer Ansatz besteht darin, sich auf die Kapazitäten der Gesundheitsversorgung zu konzentrieren und zu versuchen, die Übertragung maximal zu begrenzen, um eine Überlastung des Gesundheitssystems zu vermeiden. Die Auswirkungen auf das Unternehmen, Verwaltung oder die Menschen selber sind dabei nur schwer abzuschätzen. Aus wirtschaftsinformatischer Perspektive handelt es sich hierbei um eine Herausforderung für das Informationsmanagement: Welche Informationen und in welcher Form müssen Informationen aufbereitet werden, um Entscheidungsfindung in den Krisenstäben zu unterstützen. Für die Entscheidungsunterstützung in komplexen Systemen hat sich in den letzten zwei Dekaden Simulation als wichtiges Instrument etabliert.

Mit dem hier vorgestellten Simulationssystem SoSAD soll eine solche simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung realisiert werden. Auf der Basis umfangreicher Erfahrung in der Modellierung und Simulation, die für Ausbreitungsdynamik eskalierender Infektionskrankheiten geeignet sind, wird am DFKI und der Universität Trier das neue Simulationsmodell SoSAD-COVID-19 (Social Simulation for Analysis of Infectious Disease Control) entwickelt, welches auf Ergebnissen einer agentenbasierten Simulation der Ansteckungsdynamik einer Influenza-Epidemie von 2013 basiert. Das Modell berücksichtigt wesentliche Lebensbereiche, wie Freizeit, Beruf, Schule, und basiert insbesondere auf Informationen und Daten des Imperial College in London, der Europäischen Infektionsschutzbehörde (ECDC) und des Robert-Koch-Instituts. Der Vorteil der vorgeschlagenen Methode liegt darin, dass Expertenwissen und empirische Informationen in ein komplexes Modell eingefügt und so Lösungsansätze in virtuellen Szenarien verglichen werden können.

Das übergeordnete Ziel von SoSAD ist die Entwicklung eines Werkzeuges zur Entscheidungsunterstützung für die Politik, damit diese in einer konkreten Situation unterschiedliche Handlungsoptionen (Maßnahmen zur Eindämmung) auch ohne historische Daten bewerten kann. Neben der Nutzung durch die Politik sollte das System als Serious Game auch die Bevölkerung dabei unterstützen, Entscheidungen über Maßnahmen nachvollziehen zu können.

## **2 Kognitive Sozialsimulation**

### **2.1 Agentenbasierte Modellierung (ABM)**

Agentenbasierte Modellierung (ABM) hat sich für die Simulation von komplexen Sozialsystemen etabliert, in denen insbesondere globale Effekte durch die lokale Interaktion von Akteuren resultieren. Solche Ansätze sind vereinzelt bereits für die Simulation der Ausbreitungsdynamik entwickelt worden, bspw. (Jang & Ahn, 2016). Mit einem netzwerkbasierter Simulationsansatz untersuchen Huang et al. (2010) die Epidemien SARS und HIV in Taiwan auf der Basis demographischer und geographischer Informationen. Venkatramanan et al. (2017) schlagen eine datengetriebene agentenbasierte Modellierung für die Ausbreitungsdynamik sowie das soziale Verhalten von Menschen am Beispiel der Ebola Epidemie in Liberia von 2014-2015 vor. Darüber veranschaulichen einige Arbeiten das Potenzial agentenbasierter Modellierung und Simulation für die Bewertung von Maßnahmen zur Eindämmung, wie (Maharaj & Kleczkowski, 2012) anhand von social distancing. Zhong (2017) betrachtet das individuelle Verhalten, dass aus der öffentlichen Krisenkommunikation folgt am Beispiel der Influenza Pandemie 2009/10. Diese Beispiele zeigen die grundsätzliche Eignung von agentenbasierter Modellierung und Sozialsimulation für die Simulation von Epidemien. Es mangelt hier aber an integrierten Ansätzen, die neben sozialem auch kognitives Verhalten berücksichtigen.

### **2.2 Trierer Ansatz der kognitiven Sozialsimulation**

Eine Besonderheit der Forschung in der Verteilten Künstlichen Intelligenz ist, dass sich die Forscher hier mit der Kombination von individuellen Verhalten auf der Basis psychologischer und philosophischer Entscheidungsmodelle und soziologischer Modelle der Interaktion beschäftigen. Dennoch findet der Transfer bisher beinahe ausschließlich aus der Soziologie, Psychologie und Philosophie in die Agentenforschung statt. In Trier haben wir vor rund 12 Jahren begonnen, diese Modelle für die Simulation von Sozialsystemen zu adaptieren. Hierbei soll die kognitive Komponente helfen, dass sich die Akteure differenzierter und weniger stochastisch verhalten. Durch die Modellierung von Zielsystem und Aktionsmöglichkeiten werden die nächsten Aktionen auf der Basis der bisherigen Erfahrung des Akteurs, der Wahrnehmung des aktuellen Zustands und der Interaktion mit anderen Akteuren abgeleitet. Diese Art der Simulation ist insbesondere dann interessant, wenn untersucht werden soll, wie sich Menschen unter dem Einfluss bestimmter Vorgaben verhalten. Wir gehen dabei nicht von automatischer Konformität aus sondern modellieren konfligierende Interessen von Akteuren, die in den Entscheidungssituationen aufgelöst werden müssen. Beispielsweise haben wir auf dieser Basis Verkehrssimulationen abgeleitet, in denen Menschen für die individuelle Zielverfolgung auch Regeln überschreiten können, wie ein Fußgänger der die Straße nicht am Zebrastreifen oder Ampel sondern beliebig an der Straße überquert. Solches Verhalten wird aber beispielsweise durch einen herankommenden Bus auf der gegenüberliegenden Spur ausgelöst, so dass das Verhalten sich nicht stochastisch sondern bewusst

6

bzw. nach Russel & Norvig *strategisch* darstellt (Russel & Norvig, 2020). Sollen Maßnahmen einer Eindämmungspolitik im Kontext einer eskalierenden Infektionskrankheit untersucht werden, ist eine solche Möglichkeit der Verhaltensmodellierung sehr wichtig, da sie einen relevanten Einfluss auf die Ansteckungsraten haben kann.

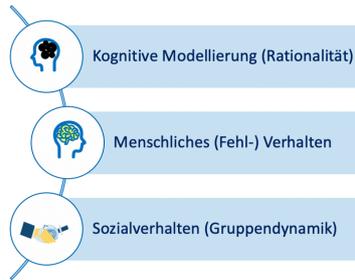


Fig. 2. Dimensionen in der kognitiven Sozialsimulation

### 2.3 Repräsentation von Akteuren und Umgebung

Die Grundlage der Modellierung bilden Agenten, welche die Einwohner in der zu betrachtenden Stadt repräsentieren. In Anlehnung an das „Social Mirror Identities“-Konzept für die Simulation von Epidemien von Huang et al. (2005) wird die Umgebung in der Stadt nicht vollständig geographisch repräsentiert. Vielmehr werden ansteckungsrelevante Orte identifiziert. Nun wird von jedem Agenten zu jedem Ort in der Stadt, der ansteckungsrelevant ist und der potentiell von diesem Agenten besucht werden kann, Verbindungen im Graphen hergestellt. Im Ablauf der Simulation muss so nicht die Bewegung von Menschen in einer Stadt berechnet werden, sondern lediglich der Tagesplan, in dem entschieden wird, wo sich der Agent an diesem Tag aufhalten wird. Treffen mehrere Agenten aufeinander von denen mindestens ein Agent ansteckend und mindestens ein weiterer infizierbar ist, wird die mögliche Ansteckung berechnet.

In SoSAD werden aktuell Haushalte, Arbeitsstätten, Freizeitstätten, Krankenhäuser und Schulen modelliert und in der Ansteckungsberechnung berücksichtigt.

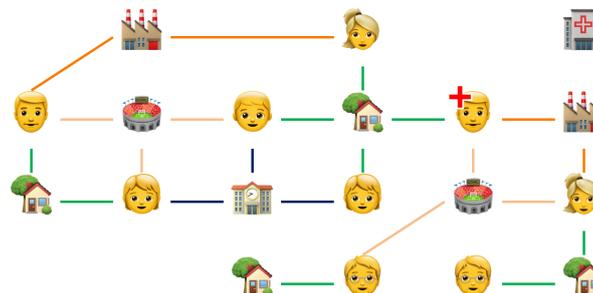


Fig. 3. Modellierung potentieller Ansteckungsorte in SoSAD

### 3 Influenza-Modell, 2013 (Timm-Lasner)

Im Nachgang zur Influenza-Pandemie von 2009/10 hat die Professur für Wirtschaftsinformatik I in drei internen Projekten mit Studierenden die agentenbasierte Simulation für eine Influenza-Epidemie entwickelt. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wie die Maßnahme „Kindergarten/Schule wird geschlossen, wenn X Kinder krank sind“ nachzubilden und zu plausibilisieren ist. 2013 haben Lasner & Timm ein Modell entwickelt, welches beispielsweise gezeigt hat, dass Schulschließungen bereits ab einem erkrankten Kind sinnvoll sein können, um die Ausbreitungsdynamik in einer Stadt nachhaltig zu mindern. Das Ergebnis ist plausibel und auf einem sorgfältig recherchierten und zusammengetragenen Modell aufgebaut. Die Implementierung erfolgte in MASON<sup>1</sup> (Agententoolkit für Simulation) (Lasner, 2013).

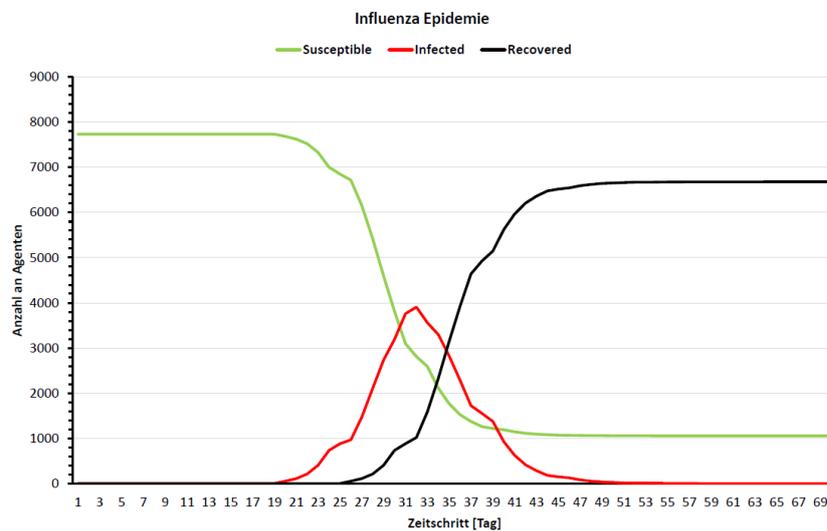
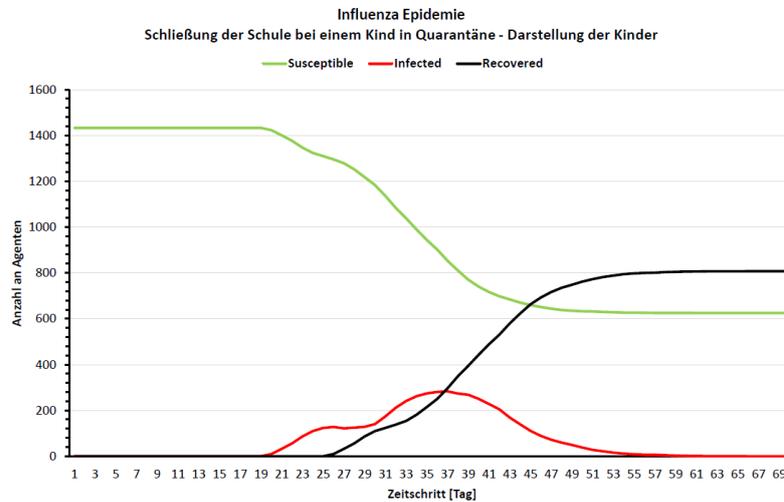


Fig. 4. Verlauf der Influenza-Pandemie ohne Maßnahmen zur Eindämmung

Abbildung 2 zeigt den Verlauf einer Simulation im Durchschnitt aus 20 Durchläufen. Verwendet wurden „Standard“-Influenzaparameter. Die grüne Linie stellt den Verlauf der gesunden, nicht immunen Agenten dar, die rote Linie den Verlauf der infizierten Agenten und die schwarze Linie beschreibt die Anzahl der genesenen, immunen Agenten. Am Zeitschritt 20 erkennt man deutlich den Infektionsbeginn durch die initialen Infektionen

<sup>1</sup> <https://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>



**Fig. 5.** Verlauf der Influenza-Pandemie bei Schulschließungen ab einem erkrankten Kind

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Gesundheitszustände der Kinderpopulation mit einer Schließung aller Schulen bei bereits einem sich in Quarantäne befindlichen Kind. Grün stellt den Bevölkerungsanteil der infizierbaren, rot den der infizierten und schwarz den der genesenen/verstorbenen dar. Die Kurve ist deutlich verändert im Vergleich zu den bisherigen Verläufen. Die Anzahl der Infizierten ist eher homogen und sehr flach. Die Gesamtdauer der Infektion verlängert sich jedoch um 2 Tage.

Wesentliche Parameter	Wert
Population (Anzahl Agenten)	10.000
- Anteil Kinder	16%
- Anteil über 65-jährige	22%
Impfquote	
- Kinder	10%
- Erwachsene	17%
- über 65-jährige	48%
Infektionsrelevante Kontakte (pro Person)	
- Schule	4
- Freizeit/Kind	6
- Freizeit/Erwachsene	4
- Arbeit	3
Initial Infizierte	0,5%
Inkubationszeit	1
Zeitspanne Infektiös	5
Ansteckungswahrscheinlichkeit	30%
- bei antiviraler Behandlung	15%
Ab wann wird Schule geschlossen (default)	30%

## 4 SoSAD-COVID-19 (NetLogo)

Für die Entwicklung des SoSAD-Systems wurde das Influenza-Modell von 2013 als Ausgangsbasis genutzt. In einem ersten Ansatz wurde dieses Modell im März 2020 in dem agentenbasierten Sozialsimulationsframework NetLogo<sup>2</sup> reimplementiert. Neben dem Influenza-Modell wurde ein erstes Modell für SARS-COV-2 entwickelt.

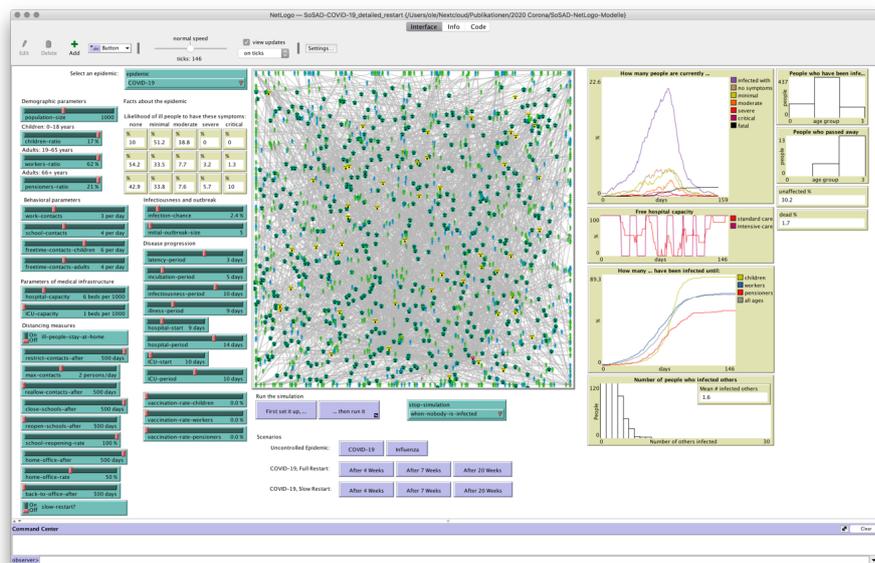


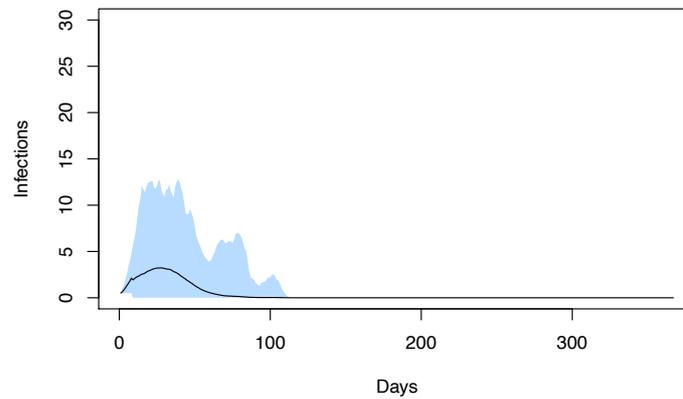
Fig. 6. Screenshot von SoSAD in NetLogo

Dieses Modell berücksichtigt eine Population, welche nicht spezifisch auf eine Region angepasst ist. Diese wird durch Altersverteilung (Kinder 0-18 Jahre, Erwachsene 19-65 Jahre und Pensionäre 66+ Jahre), Populationsgröße und Verhaltensparameter, insbesondere Kontaktanzahl pro Person in verschiedenen Kontexten definiert. Die medizinische Infrastruktur wird durch Anzahl der Krankenhausbetten und Intensivpflegebetten. Weitere Teile des Modells sind die Infektionsmodule für Influenza und SARS-COV-2, bei denen die Wahrscheinlichkeit von Symptomen mit unterschiedlichen Ausprägungsstufen pro Alterskohorte, der Krankheitsverlauf mit den wesentlichen Parametern, wie Inkubationszeit, Dauer der Infektion und Krankheit, Wahrscheinlichkeit schwerer Verläufe, Hospitalisierungsgrade usw., festgelegt werden. Da das Modell auf Influenza basiert, sind bereits Impfquoten für die Alterskohorten einstellbar. Die anfangs implementierten Maßnahmen umfassen Kontaktbeschränkung, Home-Office-Anweisung, Schulschließungen und auch das Zurücknehmen von Maßnahmen. Auf

<sup>2</sup> <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

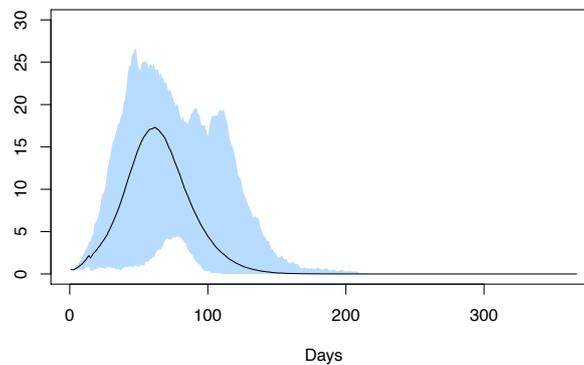
10

dieser Basis lassen sich vielfältige Szenarien simulieren. Aufgrund des genutzten Frameworks lassen sich Szenarien mit mehreren Tausend Menschen simulieren.



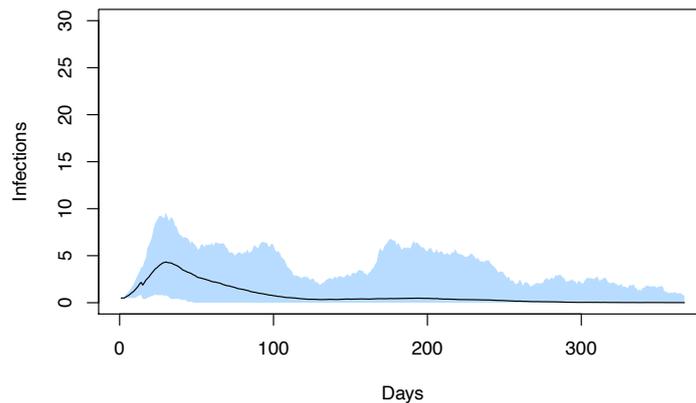
**Fig. 7.** Darstellung gleichzeitig infizierter Personen bei Influenza in % (ohne Maßnahmen).  
Blau: Ergebnisbereich, Schwarze Linie: Durchschnittlicher Verlauf

Als erste Untersuchungen wurden Vergleiche von Influenza und SARS-COV-2 vorgenommen. Die Ergebnisse sind hier beispielhaft durch Abbildungen veranschaulicht. Detaillierte Ergebnisse zusammen mit den detaillierten Parametern werden in spezifischen Schriften zu einem späteren Zeitpunkt publiziert. In Abb. 7 finden sich die Ergebnisse des Infektionsverlaufs im Influenza-Fall, ohne dass Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitungsdynamik getroffen werden.



**Fig. 8.** Darstellung gleichzeitig infizierter Personen bei SARS-COV-2 in % (ohne Maßnahmen). Blau: Ergebnisbereich, Schwarze Linie: Durchschnittlicher Verlauf

Abb. 8 und 9 zeigen die Ergebnisse der Simulation von SARS-COV-2 ohne (Abb. 8) und mit (Abb. 9) Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie. Als Maßnahmen wurden hier Kontaktbeschränkung auf zwei-Personen, Home-Office eines großen Anteils der Bevölkerung und Schulschließung gewählt



**Fig. 9.** Darstellung gleichzeitig infizierter Personen bei SARS-COV-2 in % (ohne Maßnahmen). Blau: Ergebnisbereich, Schwarze Linie: Durchschnittlicher Verlauf

Die Modelle wurden anhand von verfügbaren Daten kalibriert und haben sich als plausibel gezeigt. Mit den Abbildungen 7 und 9 lässt sich das Dilemma der Vorsorge erkennen: werden die starken Maßnahmen bei SARS-COV-2 getroffen, ist der Infektionsverlauf dem von Influenza nicht unähnlich. Der Infektionsverlauf bei SARS-COV-2 ohne Maßnahmen hätte – zumindest auf den im Frühjahr verfügbaren Daten über Infektions- und Krankheitsverläufe bei SARS-COV-2 – ein hohes Risiko enthalten, dass ein großer Anteil der Bevölkerung gleichzeitig erkrankt wäre (15-20%) und dadurch das Gesundheitssystem überlastet worden wäre. Einschränkend muss hier aber festgestellt werden, dass die Simulationen nur statische Maßnahmen, die zu Beginn festgelegt wurden und dann unverändert gelassen werden, berücksichtigt hat. In der Realität hätte die Politik bei zunehmenden und eskalierenden Infektionsgeschehen Maßnahmen zur Eindämmung ergriffen.

## 5 SoSAD-COVID-19 (Repast Symphony)

Seit April besteht eine enge Kooperation mit der Stadt Kaiserslautern. In diesem Rahmen wurde angeregt, dass Modell an eine reale Stadt anzupassen und so Entscheidungsunterstützung im kommunalen Krisenmanagement leisten zu können. Auf der Basis der bestehenden Kooperation des DFKI und insb. des Smart City Living Labs mit der Stadtverwaltung Kaiserslautern konnten kurzfristig die realen Bedingungen in Kaiserslau-

tern mit Fokus auf Haushalte und Schulen nachgebildet werden. Durch eine Reimplementierung des Systems in Repast Symphony<sup>3</sup> ist jetzt auch die agentenbasierte Simulation von einigen Hunderttausend Einwohnern möglich.

Aktuell wurden und werden unterschiedliche Fragen mit dem Modell untersucht. Anfangen im Sommer mit der Frage, ob die Öffnung von Freibädern und wenn ja mit wievielen Kunden möglich ist, werden alternative Schulbetriebsformen simuliert und in Kürze auch potentielle Impfszenarien. Eine Anpassung des Modells an weitere Kommunen, bspw. Trier, sind in Vorbereitung.

Weitere Details zu diesem Modell und seinen Parametern wird ab Herbst in weiteren Versionen dieses Dokuments bereitgestellt.

## 6 Abgrenzung zum Stand der Forschung und Vorarbeiten

### 6.1 Stand der Forschung

Seit Ausbruch der COVID-19-Pandemie werden Systeme zur Informationsgenerierung und -vermittlung auf unterschiedlichen Ebenen zur Verfügung gestellt. Dabei kommen vor allem Dashboards zur geographischen Verfolgung und Vermittlung der Gesundheitslage in Ländern (RKI 2020a, Singapur 2020, Frankreich 2020, Kanada 2020) sowie auf globaler Ebene (WHO 2020, Johns Hopkins 2020) zum Einsatz. Zur Unterstützung des Gesundheitssystems auf Ebene klinischer Einrichtungen liefern Systeme Informationen zur aktuellen Belastung von Gesundheitseinrichtungen (z.B. das Verhältnis von freien zu belegten Betten) (NPGeo 2020) sowie zur Entscheidungsunterstützung beim Ressourceneinsatz und der Kapazitätsplanung (Reeves et al. 2020, Whitelaw et al. 2020, Becker's Health Information Technology 2020). Die Methoden der Visualisierung der meist interaktiven Informationssysteme erstrecken sich von einer Auflistung der Infektionszahlen nach Landkreisen (RKIa 2020) bzw. Ländern (WHO 2020, John Hopkins 2020) über das Kennzeichnen geographischer Schwerpunkte der Infektion bis hin zur Repräsentation der zeitlichen Entwicklung der Infektionszahlen (RKI 2020a, WHO 2020, John Hopkins 2020). Neben den direkten Auswirkungen der Pandemie (z.B. Infektionszahlen und Sterbefälle) sowie der umgesetzten Maßnahmen zur Pandemiebekämpfung (EC 2020, Flaxman et al. 2020) können auch indirekte Konsequenzen für andere Bereiche des öffentlichen und privaten Lebens identifiziert werden. Auswirkungen auf Bildung (The World Bank 2020, Amorim & Lauthardt jr. 2020), Mobilität (COVID-19 Mobility Data Network 2020, Eckert & Mikosch 2020), Wirtschaft (CID 2020), Industrie (Awasthi et al. 2020, Stephany et al. 2020) und Gesundheit (Awasthi et al. 2020) werden etwa bereits analysiert und visualisiert. Jedes der Informationssysteme fokussiert jedoch auf einzelne Aspekte (z.B. Bildung oder Wirtschaft), eine umfassende Betrachtung der Konsequenzen für die vier eingangs genannten Bereiche (Gesundheitssystem, öffentliches Leben / Industrie / Wirtschaft, kritische Infrastruktur / BOS sowie die Gesundheit der Bevölkerung) und mögliche Interdependenzen zwischen diesen fehlt bislang.

---

<sup>3</sup> <https://repast.github.io/>

---

Timm, I.J.; Berndt, J.O.: Kognitive Sozialsimulation für das kommunale Krisenmanagement: Social Simulation for Analysis of Infectious Disease Control (SoSAD)

Insbesondere visualisieren Informationssysteme und Dashboards die aktuelle und historische Entwicklung. Entscheidungen bezüglich der Umsetzung oder Lockerung von Maßnahmen müssen jedoch auch mit Blick auf die mittelfristigen zukünftigen Entwicklungen getroffen und Konsequenzen abgeschätzt werden. Etablierte Methoden, wie z.B. randomisierte kontrollierte Studien zum Testen möglicher Szenarien können in der Planung im Kontext einer Pandemie kaum eingesetzt werden, da diese sowohl zeit- als auch ressourcenintensiv sind und die Ergebnisse stark vom jeweiligen Kontext der Experimente abhängen können (Schaat et al. 2020, Gilbert et al. 2018). Andere Erkenntnismethoden wie Befragung und qualitative Analysen reichen auf dieser Ebene ebenfalls nicht aus, um belastbare Handlungsempfehlungen zu formulieren (Schaat et al. 2020). Hier eignet sich stattdessen die Nutzung von Computersimulation (Schaat et al. 2020, Bortz et al. 2020, Squazzoni et al. 2020). Klassische epidemiologische Simulationsmodelle, die das Infektionsgeschehen auf Basis von Differenzialgleichungen nach dem SEIR-Ansatz prognostizieren (Bortz et al. 2020, RKI 2020b), können durch Analyse des Ist-Zustandes und der Prognose des Infektionsgeschehens zur Unterstützung von Entscheidungen beitragen. Diese Ansätze basieren allerdings auf Reproduktionsraten von Infektionen, die von den Maßnahmen abhängen und schwer im Voraus abzuschätzen sind. Diese hängen von individuellen Verhaltensweisen und den daraus resultierenden Dynamiken der betroffenen Personen und Gruppen in der Bevölkerung ab (Squazzoni et al. 2020, Epstein 2009). Zu deren Repräsentation hat sich die Agentenbasierte Modellierung (ABM) etabliert (Bortz et al. 2020, Lorig & Timm 2020). ABM wurde bereits in vergangenen Infektionsgeschehen auf politischer Ebene bereits genutzt, um Maßnahmen vor deren Umsetzung auf Wirksamkeit zu untersuchen (Bortz et al. 2020, Law 2003, Axelrod 1997, Lee et al. 2010) und wird auch im Kontext der COVID-19-Pandemie eingesetzt (Axelrod 1997, Chang et al. 2020, Klein et al. 2020, The Washington Post 2020). Ähnlich zu den vorgestellten Informationssystemen legen diese Projekte jedoch einen Fokus auf einige wenige Faktoren (Gesundheit oder Ökonomie) (Bontempi et al. 20202). Zudem vernachlässigen die Modelle entweder die Integration unterschiedlicher Datenquellen zur ausreichenden Kalibrierung oder die Repräsentation der sozialen Umstände sowie Verhaltensweisen individueller Akteure (z.B. Reaktionen auf Interventionen) (Axelrod 1997).

## 6.2 Vorarbeiten an der Universität Trier und am DFKI

Der Forschungsbereich Smarte Daten & Wissensdienste (Leitung: Prof. Dengel) am Standort Kaiserslautern verfügt über weitreichende Erfahrung in den Bereichen Semantische Technologien, Machine Learning, Wissensmanagement und partizipative Systeme, insbesondere im Kontext raum-zeitlicher Daten. An der Außenstelle Trier bestehen insbesondere Erfahrungen in dem Themenfeld Kognitive Sozialsimulation (Leitung: Prof. Timm), welche zu dem **Trierer Ansatz der kognitiven Sozialsimulation** geführt haben (Berndt & Timm 2018). Hier wird mittels KI-Methoden individuelles Verhalten auf der Basis von Kognition (Berndt et al. 2019a) und komplexer Interaktion mit Hilfe von sozialen Mechanismen (Timm & Hillebrandt 2006) modelliert,

bspw. von Menschen (eXplore 2020) oder Unternehmen (Berndt et al. 2019b, Timm et al. 2019). Diese Erfahrungen sind für die Bewertung von Maßnahmen zur Einschränkung der Ausbreitung eskalierender Infektionskrankheiten geeignet. Seit März 2020 wird hier das neue Simulationsmodell **SoSAD-COVID-19** (*Social Simulation for Analysis of Infectious Disease Control*) entwickelt, welches auf Ergebnissen des 2013 in der Arbeitsgruppe entwickelten Influenza-Modells beruht (Lasner 2013). Seit August 2020 wird dieses Modell in Kooperation mit dem System EpideMSE des Fraunhofer ITWM für das Krisenmanagement der Stadt Kaiserslautern an ausgewählten Szenarien eingesetzt. In der praxisorientierten Entwicklung von Systemen zur intelligenten Assistenz solcher Simulationen und der Datenassistenz in der Simulation hat die Arbeitsgruppe umfangreiche Projekterfahrung (AssistSim, HessenAgentur), (EDASim HessenAgentur), (AdaptPro, DFG). Das **DFKI SmartCity Living Lab** (Leitung: Dr. Memmel) hat am Standort Kaiserslautern seit Jahren in enger Kooperation mit Partnerinstitutionen und der Stadtverwaltung erforscht, wie sich moderne Technologien im städtischen Raum sinnvoll und systematisch einsetzen lassen, um in verschiedenen Bereichen zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung beizutragen (Höffken et al. 2019, Höffken & Memmel 2019, Andres et al. 2018, Radicchi et al. 2018, Memmel et al. 2016, Höffken et al. 2014, Allbach et al. 2011). Hier wurden insbesondere zahlreiche für das geplante Projekt relevante Vorarbeiten entwickelt, bspw. Spatial Profiling (Mommel et al. 2017, Smart Regio 2020), Interaktive Analyse sozio-ökonomischer Daten (Andres et al. 2018, Memmel et al. 2017, SmartRegio 2020, GaNEsHA 2020), Konzeption und Umsetzung generischer Architekturen für hochperformante Analysen & Visualisierungen raum-zeitlicher Daten (Mommel et al. 2017, Salby et al. 2013, Bergner et al. 2013a, Bergner et al. 2013b). Diese Vorarbeiten fanden unter anderem in den Förderprojekten RADAR (Allbach et al. 2011, Zeile et al. 2012, Memmel & Groß 2011), SmartRegio (Mommel et al. 2017, Memmel 2015, RADAR 2020) und GaNEsHA (GaNEsHA 2020) statt.

## 7 Danksagung

Das SoSAD Team besteht aus vielen Akteuren, die als wissenschaftliche Hilfskräfte, im Rahmen von Studienarbeiten oder auch über das normale Lehr- und Forschungsprogramm hinaus beitragen, denen wir an dieser Stelle danken wollen: Stephanie Rodermund MSc, Marek Graca BSc, Christian Lohr MSc, Lukas Reuter MSc, Colja Becker MSc, Peter Königstein, Nhat Tran, David Kaub BSc, Alexander Schewerda BSc, Ismael Bierig BSc, Joey Cheng BSc, David Janoschek BSc, Florian Weißenrieder BSc, Emin Kujovic BSc und Samet Yildirim BSc. Zusätzlich danken wir Dr. Martin Memmel (Leiter Smart City Living Lab im DFKI), Prof. Dr. Rombach und Prof. Dr. Steinebach für die wertvollen Input und die Ausgestaltung der Schnittstelle zur Stadt Kaiserslautern.

## 8 Referenzen

- (Allbach et al. 2011) Allbach, B., Memmel, M., Zeile, P., & Streich, B. (2011). Mobile Augmented City - New Methods for Urban Analysis and Urban Design Processes by using Mobile Augmented Reality Services. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., & Zeile, P., editors, Proceedings of REAL CORP 2011, 633-641.
- (Amorim & Lautharte jr. 2020) Amorim, V., Piza, C., & Lautharte Junior, I. J. (2020). The Effect of the H1N1 Pandemic on Learning: What to Expect with COVID-19.
- (Andres et al. 2018) Andres, D., Memmel, M., & Nagel, T. (2018). WanderVis - Interaktive Visualisierung von Bevölkerungsbewegungen. *Planerin: Fachzeitschrift für Stadt-, Regional- und Landesplanung*, 2, 27-30.
- (Awasthi et al. 2020) Awasthi, R., Pal, R., Singh, P., Nagori, A., Reddy, S., Gulati, A., ... & Sethi, T. (2020). CovidNLP: A Web Application for Distilling Systemic Implications of COVID-19 Pandemic with Natural Language Processing. medRxiv.
- (Axelrod 1997) Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. In: *Simulating social phenomena*, 21-40. Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Becker's Health Information Technology 2020) Becker's Health Information Technology. (2020). Swedish health services tap Microsoft to build app that tracks COVID-19 patients and hospital capacity. Abgerufen am 11. September 2020 von <https://www.beckershospitalreview.com/healthcare-information-technology/swedish-health-services-taps-microsoft-to-build-app-that-tracks-covid-19-patients-hospital-capacity.html>
- (Bergner et al. 2013a) Bergner, B., Exner, J., Memmel, M., Raslan, R., Talal, M., Taha, D., & Zeile, P. (2013). Human Sensory Assessment Linked with Geo- and Mobile-Data Processing Methods in Urban Planning Exemplified on Different Planning Cultures in Germany and Egypt. In: Geertman, S., Stillwell, J., & Toppen, F., editors, Proceedings of CUPUM 2013, 1-18.
- (Bergner et al. 2013b) aBergner, B., Exner, J., Memmel, M., Raslan, R., Taha, D., Talal, M., & Zeile, P. (2013). Human Sensory Assessment Methods in Urban Planning - a Case Study in Alexandria. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., Zeile, P., & Elisei, P., editors, Proceedings of REAL CORP 2013, 407-417.
- (Berndt & Timm 2018) Berndt, J. O., & Timm, I. J. (2018). Next Generation Agent-Based Social Simulation. Frühjahrstagung 2018 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin.
- (Berndt et al. 2018) Berndt, J.O., Rodermund, S.C., Timm, I.J. (2018). Social Contagion of Fertility: An Agent-based Simulation Study. WSC 2018: 953-964
- (Berndt et al. 2019a) Berndt, J. O., Reuter, L., Ulfert, A.-S., Antoni, C. H., Ellwart, T., & Timm, I. J. (2019). Critical Mistakes: Simulating Cognitive Workload of Emergency Response Teams. Social Simulation Conference 2019. Mainz, Germany.
- (Berndt et al. 2019b) Berndt, J. O., Reuter, L., & Timm, I. J. (2019). The Role of Organizational Meta-Knowledge for Cyber-Physical Social Systems in Industry 4.0. In: Pawar, K. S., Potter, A., Rogers, H., Glock, C. (Eds.): Supply Chain Networks vs Platforms: Innovations, Challenges and Opportunities. Proceedings of the 21st International Symposium on Logistics (ISL 2019). Würzburg, Germany. 138-145. Nottingham University, Nottingham, UK.

- (Bogon et al. 2012) Bogon, T., Timm, I.J., Jessen, U., Schmitz, M., Wenzel, S., Lattner, A.D., Paraskevopoulos, D.C., Spieckermann, S. (2012). Towards assisted input and output data analysis in manufacturing simulation: the EDASim approach. Winter Simulation Conference 2012: 257:1-257:13
- (Bontempi et al. 2020) Bontempi, E., Vergalli, S., & Squazzoni, F. (2020). Understanding COVID-19 diffusion requires an interdisciplinary, multi-dimensional approach. Environmental Research, 109814.
- (Bortz et al. 2020) Bortz, M., Burger, M., Fiedler, J., Gramsch, S., Leithäuser, N., & Mohring, J. (2020). Epidemiologie – Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung für lokale Entscheidungsträger. Whitepaper. Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM.
- (Chang et al. 2020) Chang, S. L., Harding, N., Zachreson, C., Cliff, O. M., & Prokopenko, M. (2020). Modelling transmission and control of the COVID-19 pandemic in Australia. arXiv preprint arXiv:2003.10218.
- (Chang et al. 2020) Chang, S. L., Harding, N., Zachreson, C., Cliff, O. M., & Prokopenko, M. (2020). Modelling transmission and control of the COVID-19 pandemic in Australia. arXiv preprint arXiv:2003.10218.
- (CID 2020) CID. Coronavirus Exposure Tracker. Abgerufen am 11. September 2020 von <https://cid.com/de/produkte-services/coronavirus-exposure-tracker>
- (COVID-19 Mobility Data Network 2020) COVID-19 Mobility Data Network 2020. Movement trends. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://visualization.covid19mobility.org/>
- (EC 2020) Europäische Kommission. Coronavirus: Studie belegt positive Wirkung der Eindämmungsmaßnahmen. Abgerufen am 15. September 2020 von [https://ec.europa.eu/germany/news/20200714-coronavirus-studie-belegt-positive-wirkung-der-eindaemungsmassnahmen\\_de](https://ec.europa.eu/germany/news/20200714-coronavirus-studie-belegt-positive-wirkung-der-eindaemungsmassnahmen_de)
- (Eckert & Mikosch 2020) Eckert, F., & Mikosch, H. (2020). Mobility and sales activity during the Corona crisis: daily indicators for Switzerland. In: Swiss Journal of Economics and Statistics, 156(1), 1-10.
- (Epstein 2009) Epstein, J. M. (2009). Modelling to contain pandemics. Nature, 460(7256), 687-687.
- (eXplore 2020) Projekt eXplore!. Computergestützte Modellierung, Analyse und Exploration als Grundlage für eScience in den eHumanities. (Fördergeber: BMBF). Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.uni-trier.de/index.php?id=3859>
- (Flaxman et al. 2020) Flaxman, S., Mishra, S., Gandy, A., Unwin, H. J. T., Mellan, T. A., Coupland, H., ... & Monod, M. (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. Nature, 584(7820), 257-261.
- (Frankreich 2020) Gouvernement. COVID-19. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.gouvernement.fr/info-coronavirus/carte-et-donnees>
- (GaNEsHA 2020) Projekt GaNEsHA. Ganzheitlicher Netzwerkansatz zur Erkennung systemimmanenter Hindernisse und Abstimmungspotentiale. (Fördergeber: BMVI). Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publicationen/projekte-uebersicht/projekt/ganesh/>

- (Gilbert et al. 2018) Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K., & Wilkinson, H. (2018). Computational modelling of public policy: Reflections on practice. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1), 1-14.
- (Grover & Aujla 2014) Grover, S., & Aujla, G. S. (2014). Prediction model for influenza epidemic based on Twitter data. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 3(7), 7541-7545.
- (Höffken & Memmel 2019) Höffken, S., & Memmel, M. (2019). Editorial: Künstliche Intelligenz - Die Transformation gestalten. *Planerin: Fachzeitschrift für Stadt-, Regional- und Landesplanung*, 1, 3-4.
- (Höffken et al. 2014) Höffken, S., Memmel, M., Vollmer, M., & Noll, R. (2014). Kollaboratives Leerstandsmangement. In: *gis.Science - Die Zeitschrift für Geoinformatik*, 1, 30-39. VDE, Berlin.
- (Höffken et al. 2019) Höffken, S., Lüders, B. K., & Memmel, M. (2019). Künstliche Intelligenz und Stadt - Eine kurze Einführung, Potenziale und Herausforderungen für die Planung. *Planerin: Fachzeitschrift für Stadt-, Regional- und Landesplanung*, 1, 5-8.
- (Huang et al. 2005) Huang, Chung-Yuan & Sun, Chuen-Tsai & Hsieh, Ji-lung & Chen, Yi-Ming & Lin, Holin. (2005). A Novel Small-World Model: Using Social Mirror Identities for Epidemic Simulations. *Simulation*. 81. 671-699. 10.1177/0037549705061519.
- (Huang et al. 2010) Huang, C. Y., Tsai, Y. S., & Wen, T. H. (2010). A network-based simulation architecture for studying epidemic dynamics. *Simulation*, 86(5-6), 351-368.
- (Jang & Ahn 2016) Jang, J., & Ahn, I. (2016). Simulation of Infectious Disease Spreading based on Agent Based Model in South Korea. *Advanced Science and Technology Letters*, 128, 53-58.
- (John Hopkins 2020) Johns Hopkins. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU). Abgerufen am 25. September 2020 von <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>
- (Kanada 2020) COVID-19 Canada. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://resources-covid19canada.hub.arcgis.com>
- (Klein et al. 2020) Klein, E., Lin, G., Tseng, K., Schueller, E., Kapoor, G., & Laxminarayan, R. (2020). COVID-19 for India updates (Doctoral dissertation, Princeton University).
- (Lamos 2010) Lamos, V., & Cristianini, N. (2010, June). Tracking the flu pandemic by monitoring the social web. In 2010 2nd international workshop on cognitive information processing (pp. 411-416). IEEE.
- (Lasner 2013) Lasner, N. (2013). Akteursorientierte Simulation von Epidemien. Bachelorarbeit: Universität Trier.
- (Lattner et al. 2011) Lattner, A.D., Pitsch, H., Timm, I.J., Spieckermann, S., Wenzel, S. (2011). AssistSim - Towards Automation of Simulation Studies in Logistics. *Simul. Notes Eur.* 21(3-4): 119-128
- (Law 2003) Law, A.M. (2003). Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. McGraw-Hill Education, Dubuque (Vol. 5).

- (Lee et al. 2010) Lee, B. Y., Brown, S. T., Korch, G. W., Cooley, P. C., Zimmerman, R. K., Wheaton, W. D., ... & Burke, D. S. (2010): A computer simulation of vaccine prioritization, allocation, and rationing during the 2009 H1N1 influenza pandemic. In: *Vaccine* 28(31), 4875–4879.
- (Lorig & Timm 2014) Lorig, F., Timm, I.J. (2014). How to model the "human factor" for agent-based simulation in social media analysis? *SpringSim (ADS) 2014*: 12
- (Lorig & Timm 2020) Lorig, F., & Timm, I. J. (2020). Simulation-Based Data Acquisition. In: *Principles of Data Science*, 1-15. Springer, Cham.
- (Maharaj & Kleckowski 2012) Maharaj, S., & Kleczkowski, A. (2012). Controlling epidemic spread by social distancing: Do it well or not at all. *BMC Public Health*, 12(1), 679.
- (Marini et al. 2020) Marini, M., Chokani, N., & Abhari, R. S. COVID-19 Epidemic in Switzerland: Growth Prediction and Containment Strategy Using Artificial Intelligence and Big Data.
- (Mommel & Groß 2011) Mommel, M., & Groß, F. (2011). RADAR - Potentials for Supporting Urban Development with a Social Geocontent Hub. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., & Zeile, P., editors, *Proceedings of REAL CORP 2011*, 777-784.
- (Mommel 2015) Mommel M. (2015). Mehrwert und Mehrwertgenerierung. In: *Smart Data Geschäftsmodelle*, 7-9. Smart-Data-Begleitforschung, FZI Forschungszentrum Informatik.
- (Mommel et al. 2016) Mommel, M., Dengel, A., Stricker, D., & Lukowicz, P. (2016). Künstliche Intelligenz für die Stadt von morgen. In: *Transforming Cities*, 1, 46-50. Munich, Germany.
- (Mommel et al. 2017) Mommel, M., Abecker, A., Bretthauer, S., Kirchmann, H., Korf, R., May, M., & Wacker, R. (2017). Smart Regio - Employing Spatial Data to Provide Decision Support for SMEs and City Administrations. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., Zeile, P., Elisei, P., & Beyer, C., editors, *Proceedings of REAL CORP 2017*, 507-519.
- (Nan & Gao 2018) Nan, Y., & Gao, Y. (2018). A machine learning method to monitor China's AIDS epidemics with data from Baidu trends. *PloS one*, 13(7).
- (NPGeo 2020) NPGeo Corona. Dashboard DIVI-Intensivregister auf Landkreisebene. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com/app/3a132983ad3c4ab8a28704e9addefaba>
- (Pandey & Karthikeyan 2011) Pandey, M. K., & Karthikeyan, S. (2011). Performance analysis of time series forecasting of ebola casualties using machine learning algorithm. *Proceedings ITISE*, 2011.
- (RADAR 2020) Projekt RADAR. Resource Annotation and Delivery for Mobile Augmented Reality Services. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.dfki.de/en/web/research/projects-and-publications/projects-overview/projekt/radar/>
- (Radicchi et al. 2018) Radicchi, A., Henckel, D., & Mommel, M. (2018). Citizens as smart, active sensors for a quiet and just city. The case of the "open source soundscapes" approach to identify, assess and plan "everyday quiet areas" in cities. *Noise Mapping*, 4(1), 104-123.
- (Reeves et al. 2020) Reeves, J. J., Hollandsworth, H. M., Torriani, F. J., Taplitz, R., Abeles, S., Tai-Seale, M., ... & Longhurst, C. A. (2020). Rapid response to COVID-19: health

- informatics support for outbreak management in an academic health system. In: Journal of the American Medical Informatics Association, 27(6), 853-859.
- (RKI 2020a) Robert Koch-Institut: COVID-19-Dashboard, Germany. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480e823b17327b2bf1d4>
- (RKI 2020b) Robert-Koch-Institut: Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland (20.3.2020). Abgerufen am 25. September 2020 von [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Modellierung\\_Deutschland.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Modellierung_Deutschland.html)
- (Russel & Norvig 2020) Stuart Russel, Peter Norvig: Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2020.
- (Sabty et al. 2013) Sabty, C., Memmel, M., & Abdennadher, S. (2013). GeoEvents - An Interactive Tool to Analyze and Visualize Spatial Information from the Social Web. In: Bilof, R., editor, Proceedings of the ASE/IEEE International Conference on Social Computing (SocialCom) 2013, 803-808.
- (Schaat et al. 2020) Schaat, S., Bogenstahl, C., Goluchowicz, K., Heinen-Kammerer, T., & Weide, S. (2020). Sozialsimulationen innovationspolitischer und medizinischer Maßnahmen. Working Paper of the Institute for Innovation and Technology, 49.
- (Siddiqui et al. 2018) Siddiqui, S. A., Mercier, D., Munir, M., Dengel, A., & Ahmed, S. (2018). TSViz: Demystification of Deep Learning Models for Time-Series Analysis. arXiv preprint arXiv:1802.02952.
- (Singapur 2020) covid19 SG. Dashboard of the COVID-19 Virus Outbreak in Singapore. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://co.vid19.sg/singapore/dashboard>
- (SmartRegio 2020) Projekt SmartRegio. Strategische Analyse heterogener Massendaten im urbanen Umfeld. (Fördergeber: BMWi). Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publicationen/projekte-uebersicht/projekt/smartregio/>
- (Squazzoni et al. 2020) Squazzoni, F., Polhill, J. G., Edmonds, B., Ahrweiler, P., Antosz, P., Scholz, G., ... & Gilbert, N. (2020). Computational Models That Matter During a Global Pandemic Outbreak: A Call to Action. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 23(2) 10.
- (Stephany et al. 2020) Stephany, F., Stoehr, N., Darius, P., Neuhäuser, L., Teutloff, O., & Braesemann, F. (2020). The CoRisk-Index: A data-mining approach to identify industry-specific risk assessments related to COVID-19 in real-time. arXiv preprint arXiv:2003.12432.
- (Talvis et al. 2014) Talvis, K., Chorianopoulos, K., & Kermanidis, K. L. (2014, November). Real-time monitoring of flu epidemics through linguistic and statistical analysis of Twitter messages. In 2014 9th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (pp. 83-87). IEEE.
- (Teng et al. 2017) Teng, Y., Bi, D., Xie, G., Jin, Y., Huang, Y., Lin, B., ... & Tong, Y. (2017). Dynamic forecasting of Zika epidemics using Google Trends. PloS one, 12(1).
- (The Washington Post 2020) The Washington Post. A chilling scientific paper helped upend U.S. and U.K. coronavirus strategies (März 2020). Abgerufen am 17. September 2020 von

[https://www.washingtonpost.com/world/europe/a-chilling-scientific-paper-helped-up-end-us-and-uk-coronavirus-strategies/2020/03/17/aaa84116-6851-11ea-b199-3a9799c54512\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/world/europe/a-chilling-scientific-paper-helped-up-end-us-and-uk-coronavirus-strategies/2020/03/17/aaa84116-6851-11ea-b199-3a9799c54512_story.html)

- (The World Bank 2020) The World Bank. World Bank Education and COVID-19. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://www.worldbank.org/en/data/interactive/2020/03/24/world-bank-education-and-covid-19>
- (Timm & Hillebrandt 2006) Timm, I. J., & Hillebrandt, F. (2006). Reflexion als sozialer Mechanismus zum strategischen Management autonomer Softwaresysteme. In: Schmitt, M., Michael, F., Hillebrandt, F. (Hrsg.): Reflexive soziale Mechanismen. Von soziologischen Erklärungen zu sozionischen Modellen, VS Verlag: Wiesbaden, Seiten 255-288.
- (Timm et al. 2019) Timm, I. J., Reuter, L., Berndt, J. O., Ulfert, A.-S., Ellwart, T., & Antoni, C. H. (2019). Analyzing the Effects of Role Configuration in Logistics Processes using Multiagent-Based Simulation: An Interdisciplinary Approach. In: Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2019), 5476-5485. Grand Wailea, Maui, HI, USA.
- (Timm et al. 2019) Timm, I.J., Hess, B., Lorig, F. (2019). Data Acquisition for ad-hoc Evacuation Simulations of Public Buildings. ISCRAM 2019
- (Venkatramanan et al. 2018) Venkatramanan, S., Lewis, B., Chen, J., Higdon, D., Vullikanti, A., & Marathe, M. (2018). Using data-driven agent-based models for forecasting emerging infectious diseases. *Epidemics*, 22, 43-49.
- (Whitelaw et al. 2020) Whitelaw, S., Mamas, M. A., Topol, E., & Van Spall, H. G. (2020). Applications of digital technology in COVID-19 pandemic planning and response. *The Lancet Digital Health*, 2(8), e435-e440.
- (WHO 2020) World Health Organization. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Abgerufen am 25. September 2020 von <https://covid19.who.int>
- (Xu et al. 2010) Xu, W., Han, Z. W., & Ma, J. (2010, July). A neural network based approach to detect influenza epidemics using search engine query data. In 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (pp. 1408-1412). IEEE.
- (Zeile et al. 2012) Zeile, P., Memmel, M., & Exner, J. (2012). A New Urban Sensing and Monitoring Approach: Tagging the City with the RADAR SENSING App. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., Zeile, P., & Elisei, P., editors, Proceedings of REAL CORP 2012, 17-25.
- (Zhong 2017) Zhong, W. (2017). Simulating influenza pandemic dynamics with public risk communication and individual responsive behavior. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 23(4), 475-495.