

Eine Übersicht über Covid-19-Modellierungen und deren Modellierer

Möglichkeiten und Grenzen der Covid-19-Modellierung

„Viele dieser mathematischen Modelle, das sehen wir auch jetzt bei Covid-19, betrachten die Pandemie unabhängig davon, wie das menschliche Verhalten – als Antwort auf das Infektionsgeschehen – sich ändert. Sie modellieren die Ausbreitung der Pandemie sehr gut, sie versuchen, möglichst alle Details zu erfassen und wirklichkeitsgetreu abzubilden.“ Das sagt Prof. Dirk Brockmann, Physiker und Professor am Institut für Biologie der Humboldt-Universität Berlin in einem Interview in der „TAZ“. Damit hat er recht, und bringt das Wesen eines jeden Modells auf den Punkt: die inhärente Unsicherheit. Dennoch, so Brockmann, gebe es hervorragende Modelle, die verschiedene mögliche Szenarien skizzieren können, wenn nicht klar sei, welches Szenarium am Ende eintreffe, doch sei es „schon mal ein Gewinn, zu wissen, wie es aussehen könnte“. An dieser Frage arbeiten weltweit viele Forscher vieler Fachrichtungen – vor allem aus der Mathematik und Physik. Die Versorgungsforschung ist – bis auf sehr wenige Ausnahmen – nicht dabei.

>> Das „Covid-19 Bayesian Modelling for Outbreak Detection“ soll laut Prof. Dr. Gordon Pipa, Leiter der Arbeitsgruppe Neuroinformatik auf dem KI-Campus an der Universität Osnabrück, die das BSTIM-Modell entwickelt hat, zwei wesentliche Merkmale besitzen, die es von anderen Methoden unterscheidet: „Zum einen liefert die neue Methode einen Vorhersagehorizont, der es ermöglicht, die Verlässlichkeit der Prognosen zu beurteilen“, erklärt Pipa in einer Pressemitteilung vom 23. September 2020 zur Vorstellung eines „Neuen Modells für landkreisbezogene Corona-Vorhersagen“. Zum anderen sei der Einfluss „vom örtlich benachbarten Infektionsgeschehen mit einbezogen“, was es erlaube, auch die Dynamik der Ausbreitung zu bewerten.“ Laut Pipa ist eine von mehreren Herausforderungen bei der Auflösung nach einzelnen Landkreisen die niedrige Fallzahl. „Eine einzelne Prognosekurve kann irreführend sein, da sich die Verlässlichkeit der Vorhersage nicht beurteilen lässt“, erläutert Pipa. Das von seinem Thema und ihm verwandte BSTIM-Modell berechnet daher nicht nur einen einzelnen wahrscheinlichen Verlauf, sondern berücksichtigt viele mögliche Verläufe, die zu den Daten konform sind. Pipa: „Dies ermöglicht die Berechnung sogenannter Vorhersagehorizonte als Maß für die Streuung der Wahrscheinlichkeiten. Auf diese Weise ist eine Einschätzung der Situation einschließlich statistischer Unsicherheiten möglich, die auch bei niedrigen Fallzahlen hilfreiche Informationen liefern kann.“ Darum geben Modelle wie diese Vorhersagehorizonte meist in Quantilen an – um das mögliche Maß für die Streuung der Wahrscheinlichkeiten darzustellen. Diese kann, je nachdem, wie weit in die Zukunft eine Prognose reicht, ganz schön weit sein. Generell gilt: Je weiter, desto höher wird die Streuung. Darum unterscheidet Pipa in seinem Modell zwischen einem Nowcast – der Schätzung der Werte für den ak-

tuellen Tag, korrigiert um die Zahlen durch womöglich verzögerte Meldewerte – sowie einem Forecast für die kommenden fünf Tage. Lediglich fünf!

Problematisch wird es, wenn die Politik Aktionen mit derartigen Prognosen begründet. Einerseits sei dies zwar „grundsätzlich sehr begrüßenswert“, sagt die Mathematikerin Dr. Marie-Therese Wolfram (2) in einem Interview unter dem Titel „Warum es so schwer ist, die Verbreitung von Covid-19 zu modellieren“ mit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Andererseits müsse jedoch bedacht werden, wie in diesem Zusammenhang Kommunikation funktionieren, sagt die Assistenzprofessorin an der britischen University of Warwick: „Die Konfidenzintervalle, mit denen Wissenschaftler ihre Prognosen versehen, werden von der Politik meistens unter den Teppich gekehrt.“ So hätte der englische Premierminister Boris Johnson versucht, seine politischen Entscheidungen mithilfe einer Gleichung zu untermauern. Wolfram in dem Interview: „Die Gleichung machte absolut keinen Sinn – er hat quasi Äpfel mit Birnen verglichen.“

Obwohl ihrer Meinung nach jegliche Prognosen mit Vorsicht zu genießen seien, hätten derartige mathematische Modellierungen dennoch ihren Stellenwert. Wolfram: „Die Modelle können ständig verbessert werden und je länger der Beobachtungszeitraum wird, desto besser werden auch die Daten.“ So hätten zum Beispiel Kollegen am Imperial College in London ihre Prognosen bereits mehrfach verbessert und revidiert, „einfach weil sie bessere Informationen über die Übertragungsraten für verschiedene Berufs- oder Altersgruppen zur Verfügung hatten“.

Gleiches macht übrigens auch die kürzlich vorgestellte „Simulation der Intensivbettenauslastung für Covid-19 in Abhängigkeit von der Infektionsdynamik und dem zu erwartenden Impfeffekt“. Das DIVI-Prognosemodell

hat indes einen eindeutigen Vorteil gegenüber vielen, vielleicht sogar den meisten anderen Modellierungsversuchen (siehe Seiten 26-28). Die durch die Simulation errechneten Konsequenzen für die Belegung der Intensivbetten – abhängig von dem jeweils zu erwartenden R-Wert für den Wildtyp und dem der sich zunehmend verbreitenden Mutanten sowie den gegenläufigen, positiven Auswirkungen der Impfkampagne – können tagesgenau durch die tatsächliche Belegung der Intensivbetten gegengecheckt werden. In der Pressekonferenz anlässlich der Vorstellung des DIVI-Prognosemodells konnte Prof. Dr. Andreas Schuppert vom Institut für Computational Biomedicine der RWTH Aachen überzeugend darlegen, dass sich die Trefferwahrscheinlichkeit des Modells bei rund 10% bewegen würde.

Dem ist jedoch leider nicht immer so. „Epidemioprognosen haben eine zweifelhafte Erfolgsbilanz“, stellen Ioannidis, Cripps und Tanner in ihrer bei Elsevier publizierten Arbeit „Forecasting for Covid-19 has failed“ (3) fest. Einige der Ursachen für diese Fehlschläge seien

- schlechte Dateneingabe,
- falsche Modellierungsannahmen,
- hohe Sensitivität der Schätzungen,
- mangelnde Einbeziehung epidemiologischer Merkmale,
- schlechte Nachweise über die Auswirkungen verfügbarer Interventionen in der Vergangenheit,
- mangelnde Transparenz,
- Irrtümer,
- mangelnde Bestimmtheit,
- Berücksichtigung nur einer oder weniger Dimensionen des vorliegenden Problems,
- fehlende Expertise in entscheidenden Disziplinen,
- Gruppendenken,
- Mitläufereffekte sowie
- selektive Berichterstattung.

Die Autoren konstatieren in ihrer Arbeit, dass es unwahrscheinlich sei, dass die Epidemieprognose aufgegeben werde, doch könnten einige (aber nicht alle) der genannten Probleme behoben werden. Ihr Rat: „Eine sorgfältige Modellierung von Vorhersageverteilungen, anstatt sich auf Punktschätzungen zu konzentrieren, die Berücksichtigung mehrerer Wirkungsdimensionen und die kontinuierliche Neubewertung von Modellen auf der Grundlage ihrer validierten Leistung können helfen.“ Doch falls wichtige Entscheidungen (z. B. drakonische Abriegelungen) auf derlei Prognosen beruhen würden, müssen nach Meinung der Autoren „die Schäden in Bezug auf Gesundheit, Wirtschaft und die Gesellschaft insgesamt und die Asymmetrie der Risiken ganzheitlich betrachtet“ werden, – unter Berücksichtigung der Gesamtheit der Beweise.

Als warnende Beispiele führen die drei Autoren mehrere Real-Fälle an, darunter eines aus New York (4). So hätten „anspruchsvolle Wissenschaftler“ – so New Yorks Gouverneur Andrew Cuomo am 10. April 2020 – den kommenden Ausbruch des Coronavirus untersucht und ihre Prognosen seien alarmierend. Weil sich die Infektionen fast alle drei Tage verdoppeln würden, würde der Staat New York bis zu 140.000 Krankenhausbetten und bis zu 40.000 Intensivstationen mit Beatmungsgeräten benötigen, um eine Katastrophe abzuwenden. Es kam jedoch anders, wie Ioannidis und seine Mitautoren schreiben: Die Zahl der belegten Intensivbetten sei erstmals in der Krise auf 4.908 gesunken, zum anderen wäre die Gesamtzahl der Krankenhausaufenthalte mit dem Virus mit 18.569 weit niedriger als die düstersten Erwartungen ausgefallen. Cuomos damaliges Lamento am 25. Mai 2020: „Hier ist mein Projektionsmodell. Hier ist mein Prognosemodell. Sie waren alle falsch. Sie waren alle falsch.“ (5)

Auch andere Vorhersagen für den Be-

darf an Krankenhäusern und Intensivbetten hätten völlig falsch gelegen. Allerdings seien nur sehr wenige Krankenhäuser letztendlich überlastet gewesen – und das auch nur für ein paar Wochen. Ioannidis, Cripps und Tanner: „Die meisten Krankenhäuser unterhielten weitgehend leere Stationen, in Erwartung eines Tsunamis, der nie kam.“ Tragischerweise sei es dadurch in vielen Gesundheitssystemen zu schwerwiegenden negativen Folgen gekommen, nicht durch Überlastung der Covid-19-Fälle, sondern aus ganz anderen Gründen. So hätten Patienten mit Herzinfarkten Krankenhäuser zur Versorgung gemieden (De Filippo, D’Ascenzo, Angelini, et al. 2020), wichtige Behandlungen (z. B. bei Krebs) seien ungerechtfertigt verzögert (Sud et al. 2020) worden und auch die psychische Gesundheit hätte gelitten (Moser, Glaus, Frangou, et al. 2020). Die Generalkritik des Autorentrios: „Öffentliche Entscheidungsträger vertrauten Modellen (manchmal sogar Blackboxen ohne offengelegte Methodik), die eine massive Überlastung der Gesundheitskapazitäten vorhergesagt hätten.“ (6)

Dennoch plädieren Ioannidis und seine Mitautoren dafür, Daten zu nutzen, um zu verfolgen, wie sich die Epidemie und ihre Auswirkungen entwickeln. Daten könnten helfen, Entscheidungen unter Berücksichtigung von Risikoverteilungen zu titrieren. Sie warnen allerdings davor, dass schlecht funktionierende Modelle und solche, die nur für eine Dimension der Auswirkungen gut funktionieren, ebenso gut Schaden anrichten können. Darum sei dieses Thema nicht nur ein Thema der akademischen Debatte, sondern laut Jefferson et al. ein Thema von potenziell verheerenden, falschen Entscheidungen (7).

Noch eines kommt hinzu: Da sich die Covid-19-Pandemie in Deutschland wie überall auf der Welt nie konstant, sondern immer in mehreren Phasen entwickelt, muss man dazu auch „unterschiedliche mathematische Modelle“ verwenden, die diese Phasen dann

auch mehr oder weniger gut beschreiben können. Dies rät zumindest Ingo Dahn (8), der bis 2015 das zentrale eLearning-Institut der Universität Koblenz-Landau leitete. Seit seiner Pensionierung veröffentlicht er unter Dahn Research Neuigkeiten, Gedanken und Ressourcen im Zusammenhang mit seiner Arbeit, so auch zu Fragen der mathematischen Modellierung. Dahns Rat:

- In der ersten Phase, etwa bis Ende März, erfolgt die Ausbreitung des Virus im Wesentlichen ungehemmt, so dass sich das am Besten mit einem exponentiellen Modell beschreiben lässt.
- In der zweiten Phase, die etwa bis Anfang Mai 2020 geht, wird die Ausbreitung des Virus gehemmt – das SI-Modell erweist sich als optimal zur Beschreibung der Situation.
- Die dritte Phase umfasst den Zeitraum von Anfang Mai bis Mitte Juni 2020. Die Lockdown-Maßnahmen wirken, Infektionsketten werden unterbrochen, immer mehr Personen scheiden nach überstandener Krankheit aus dem Infektionsgeschehen aus. Jetzt kann das SIR-Modell die Entwicklung am Besten beschreiben.
- Schließlich werden in Phase 4 Lockdown-Maßnahmen gelockert, das Infektionsgeschehen ist örtlich sehr unterschiedlich. Damit verlieren deutschlandweite Modelle an Bedeutung; andere Modelle, insbesondere zur Modellierung der räumlichen Ausbreitung des Virus, gewinnen an Bedeutung.

Laut Dahn altern Modelle aber auch. Um die Vorhersagequalität eines Modells zu erhalten, sei es daher erforderlich, seine Parameter kontinuierlich anzupassen – solange wie dies möglich ist und kein besseres Modell zur Verfügung steht. Das weiß man am besten, wenn man es selbst ausprobiert hat. Aus diesem Grund hat er auf seiner Website ein sogenanntes Jupyter-Notebook aufgesetzt, das vor allem für die selbständige, interaktive Arbeit gedacht sei, das aber auch gerne in der Lehre eingesetzt werden könne. Mit diesem Tool kann jeder Nutzer die Grundlagen von drei wichtigen epidemiologischen Modellen verstehen, selbst ausprobieren und damit die Leistungsfähigkeit und die Grenzen der behandelten mathematischen Modelle erforschen. Dies erfordere lediglich ein gewisses Verständnis für ein System von Differentialgleichungen und dessen näherungsweise numerische Lösung mit dem Runge-Kutta-Verfahren. Tja, einfach mal ausprobieren! <<

von:

MVF-Chefredakteur Peter Stegmaier

Literatur

- 1: https://www.uni-osnabrueck.de/kommunikation/kommunikation-und-marketing-angebot-und-aufgaben/pressestelle/pressemeldung/news/neues-modell-fuer-landkreisbezogene-corona-vorhersagen-neuroinformatiker-der-universitaet-osnabrueck/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=8f5d14b23e5e0d034c6fdb5329dd3b23
- 2: doi: 10.1016/j.ijforecast.2020.08.004
- 3: doi: 10.1016/j.ijforecast.2020.08.004
- 4: <https://www.nytimes.com/2020/04/10/nyregion/new-york-coronavirus-hospitals.html> und <https://www.forbes.com/sites/sethcohen/2020/05/26/we-all-failed--the-real-reason-behind-ny-governor-andrew-cuomos-surprising-confession/#3e700be06fa5>
- 5: <https://www.syracuse.com/news/2020/05/cuomo-ny-coronavirus-projections-all-wrong-too-early-to-tell-if-reopening-is-working.html>
- 6: <http://www.healthdata.org/research-article/forecasting-covid-19-impact-hospital-bed-days-icu-days-ventilator-days-and-deaths>
- 7: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21735402/>
- 8: <https://mybinder.org/v2/gh/ingodahn/Corona/master?filepath=Deutschland.ipynb>

Covid-19-Modellierungen und Modellierer				
Wer	Institution	Fachrichtung	Modellname	Webseite
Bedienbare Simulationstools-/Modelle				
Bertsimas, Prof. Dimitris	MIT Operations Research Center	Epidemiologie	Case predictions, Policy evaluations	https://www.covidanalytics.io
Bracher, Johannes	Epidemiology, Biostatistics and Prevention Institute, University of Zurich	Biostatistik	German/Polish Covid-19 ForecastHub	https://kitmetricslab.github.io
Daniell, James	Risklayer, Karlsruhe Institute of Technology's Center for Disaster Risk Management and Risk Reduction Technology	Katastrophenforschung	Risklayer	https://www.risklayer-explorer.com/report/1
Eichner, Martin/Schwehm, Markus	Epimos GmbH, ExploSYS, Universität Tübingen, IMAAC NEXT Association, gefördert durch BMBF		CovidSIM	http://covidsim.eu/
Engbert, Prof. Ralf	Universität Potsdam	Physik	Sequential data assimilation of the SEIR model for Covid-19	https://engbertlab.shinyapps.io/covid19-dashboard
Goh, Gabriel	Privatinitiative, Kalifornien	Machine Learning	Epidemic Calculator	https://bit.ly/2OpWq5I
Gruber, Mag. Dr. Christian	Innophore, acib GmbH, Universität Graz	Bioinformatik	Computermodell zur Prognose von Mutationen	http://gabgoh.github.io
Flahault, Prof. Antoine	Institute of Global Health, University Geneva	Biomathematik	Covid-19 Daily Epidemic Forecasting	https://bit.ly/30u2koy
Kühn, Dr. Martin Joachim	DLR-Institut für Softwaretechnologie, Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung	Geografie	HPC gegen Corona	https://hpcvscorona.dlr.de/#/
Lehr, Prof. Dr. Thorsten	Universität des Saarlandes	Pharmazie, Virologie	Covid-19 Simulator	https://covid-simulator.com
McHardy, Prof. Alice	Abteilung Bioinformatik der Infektionsforschung, HZI	Bioinformatik	CoVerage	https://sarscoverage.org
Murray, Prof. Christopher J.L.	Institute for Health Metrics and Evaluation		Forecasting Covid-19	https://covid19.healthdata.org
Nagel, Kai	Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik, TU Berlin	Physik	Virus spreading dynamics model	https://covid-sim.info
Neher, Prof. Dr. Richard	Biozentrum, Universität Basel	Mathematik	Covid-19-Scenarios	https://covid19-scenarios.org
Pipa, Prof. Dr. Gordon	Uni Osnabrück, Jülich Supercomputing Centre	Neuroinformatik	Covid-19-Scenarios	https://covid19-bayesian.fz-juelich.de/
Pyk, Prof. Dr. Andreas	Lehrstuhl für Innovationsökonomik, Universität Hohenheim	Wirtschaftstheorie, Innovationsökonomik	Agent-based policy laboratory for Covid-19 containment strategies	https://inno.uni-hohenheim.de/corona-modell
Schlickeiser, Prof. Dr. Reinhard/Schlickeiser, Dr. Frank	Fakultät für Physik und Astronomie, Ruhr-Universität Bochum	Mathematik	Prognose für die Entwicklung der Covid-19-Sterberaten	http://www.complexfluids.ethz.ch/corona https://www.complexfluids.ethz.ch/cgi-bin/corona-wave2
Schuppert, Prof. Dr. Andreas	Institut für Computational Biomedicine, RWTH Aachen	Biomedizin	DIVI-Prognosetool	https://bit.ly/30os7i9 https://www.combine.rwth-aachen.de
Treiber, Dr. Martin	Institut für Wirtschaft und Verkehr der TU Dresden	Statistik	Simulation der Covid-19 Pandemie	https://corona-simulation.de/index.html
von Stillfried, Dr. Dominik	Zi, KBV	Medizin	Vorausberechnung der Corona-Impfkampagne	https://www.zidatasciencelab.de/cov-19vaccsim
	European Centre Disease Prevention Control	Epidemiologie	Dashboards für Covid-19	https://bit.ly/2Nj0NyR
	Johns Hopkins Coronavirus Resource Center, gefördert durch Bloomberg Philanthropies, Stavros Niarchos Foundation	Epidemiologie	An interactive web-based dashboard to track Covid-19 in real time	https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(20)30120-1/fulltext
	London School of Hygiene & Tropical Medicine	Epidemiologie	Covid-19 vaccine tracker	https://vac-lshtm.shinyapps.io/ncov_vaccine_landscape
	MGH Institute for Technology Assessment, Harvard Medical School	Epidemiologie	Covid-19 & Policy Simulator, Outbreak Tool	https://www.covid19sim.org

Covid-19-Modellierungen und Modellierer				
Wer	Institution	Fachrichtung	Modellname	Webseite
Visualisierungen				
Popper, Dr. Niki	Institut für Information Systems Engineering Technische Universität Wien, TU-Spin-Off dw	Artificial Intelligence, Statistik, Mathematik, Data Science	Decision Support	https://www.dwh.at/blog/wie-mandie-epidemie-berechnen-kann/projects/covid-19/
	Technische Universität Wien/DEXHELPP/dwh GmbH, Medizinische Universität Wien/Complexity Science Hub Vienna (CSH), Gesundheit Österreich GmbH		Covid-19: Prognosekonsortium	https://www.sozialministerium.at/Informationen-zum-Coronavirus/Neuartiges-Coronavirus-(2019-nCov)/COVID-Prognose-Konsortium.html
Analysetools				
Dennler, Dr. Ulf	ZEQ AG, Klinik München	Medizincontrolling	ZEQ-Szenariorechner	https://www.zeq.de/covid-19/covid-19-szenariorechner.html
Häussler, Prof. Dr. Bertram	IGES Institut	Versorgungsforschung	IGES Pandemie Monitor	https://www.iges.com/corona/
Schmitt, Prof. Dr. Jochen	Zentrum für Evidenzbasierte Gesundheitsversorgung (ZEGV), Universitätsklinikum Dresden und TU Dresden	Versorgungsforschung	DISPENSE (Sachsen, Translation nach Hessen)	https://www.uniklinikum-dresden.de/de/das-klinikum/universitaetscentren/zegv/projekte/dispense
Timm, Prof. Dr.-Ing. Ingo / Küfer, Prof. Dr. Karl-Heinz	Fraunhofer ITWM, DFki, Smart City Living Lab (SCLL), Fraunhofer ITWM, Stadtverwaltungen von Kaiserslautern und Trier, Verband für Sicherheitstechnik e.V. (VfS), CID GmbH, mata:solutions GmbH, gefördert durch BMBF	Kognitive Sozialsimulation	AScore SoSAD (Social Simulation for Analysis of Infectious Disease Control)	https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publikationen/publikationen-uebersicht/publikation/11310/ https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/import/11310_SoSAD-COVID-19_Timm-Berndt_V2.pdf
	Privatinitiative, gefördert durch BMBF	Epidemiologie	Dunkelzifferadar	https://covid19.dunkelzifferadar.de/
	PwC Österreich, Samariterbund Österreich, Austrian Institute of Technology (AIT)	Verhaltens- und Mobilitätsforschung	Covid-19-Simulator	https://www.pwc.at/de/aktuelle-themen/covid-19-simulator.html#content-free-1-00c7
In Arbeit				
Hoffmann, Prof. Dr. Daniel	Universität Duisburg-Essen, Fakultät Biologie und Geographie, Zentrum für Medizinische Biotechnologie, gefördert durch BMBF	Biologie, Geografie	SECOVIT – Computergestützte Modellierung und Analyse von SARS-CoV-2	https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/computergestuetzte-modellierung-und-analyse-von-sars-cov-2-11704.php
Grundmann, Hajo	Universitätsklinikum Heidelberg Universitätsklinikum Tübingen Universitätsklinikum Ulm Universitätsklinikum Mannheim	Mathematik	Mathematische Modellierung der Inzidenz und Varianz von Covid-19	https://freidok.uni-freiburg.de/proj/8581
Wienands, Prof. Dr. Jürgen	Universitätsmedizin Göttingen (UMG)	Fächerübergreifend	COFONI – Epidemiologische Modellierung	https://www.umg.eu/forschung/corona-forschung/cofoni/
Interessante Beiträge zu Modellierungsproblemen und -fehlern				
Brockmann, Prof Dirk	Institut für Biologie der Humboldt-Universität Berlin.	Physik	Interview: „Der Knackpunkt ist der Mensch“	https://taz.de/Physiker-ueber-epidemiologische-Modelle!/5710090/
Ioannidis, John P.A. / Cripps, Sally / Tanner, Martin A.	Stanford Prevention Research Center; School of Mathematics and Statistics, The University of Sydney; Department of Statistics, Northwestern University, Evanston	Epidemiologie	Forecasting for COVID-19 has failed	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7447267/ doi: 10.1016/j.ijforecast.2020.08.004
Wolfram, Marie-Therese	University of Warwick, Johann Radon Institute for Computational and Applied Mathematics	Mathematik	Interview: „Warum es so schwer ist, die Verbreitung von Covid-19 zu modellieren“	https://www.oeaw.ac.at/detail/news/warum-es-so-schwer-ist-die-verbreitung-von-covid-19-zu-modellieren
Wie man Modellierungen erstellen kann				
Dahn, Ingo	Dahn Research	Mathematik	Mathematische Modelle zur Beschreibung der Covid-19-Pandemie	https://mybinder.org/v2/gh/ingodahn/Corona/master?filepath=Deutschland.ipynb

Zitationshinweis

Stegmaier, P.: „Möglichkeiten und Grenzen der Covid-19-Modellierung“, in „Monitor Versorgungsforschung“ (02/21), S. 22-26. doi: <http://doi.org/10.24945/MVF.02.21.1866-0533.2290>

Covid-19-Modellierungen und Modellierer				
Wer	Institution	Fachrichtung	Modellname	Webseite
Publizierte wissenschaftliche Arbeiten, oft nicht peer-reviewed				
Akumah Ngwa, Prof. Gideon / Teboh-Ewunkem, Prof. Miranda	Hochschule Mittweida	Mathematik	Vorhersagemodell für Covid-19	https://bmcinfectdis.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12879-020-05566-7
Contreras, Sebastian	Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation		Low case numbers enable long-term stable pandemic control without lockdowns	https://arxiv.org/pdf/2011.11413.pdf
Hackl, Prof. Dr. rer. nat. Klaus	Lehrstuhl für Mechanik – Materialtheorie, Ruhr-Universität Bochum	Epidemiologie, Ingenieursysteme	Modeling the Covid-19 pandemic - parameter identification and reliability of predictions	doi: https://doi.org/10.1101/2020.04.07.20056937
German, Prof. Dr.-Ing. Reinhard	Lehrstuhl für Informatik 7 der Technischen Fakultät der FAU	Informatik	Verlauf der Covid-19-Pandemie nachzubilden und Auswirkungen von Strategien zur kontrollierten Rücknahme	https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.14.20063750v1
Golestanian, Prof. Dr. Ramin	Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation	Physik	Simulation/Studie	https://www.mpg.de/15216768/corona-lokale-lockdowns
Grimm, Heiner	Technische Universität Clausthal		Modellierung der Ausbreitung des SARS-CoV-2-Erregers (Verteilung der Infektiosität, Inkubationszeiten, Meldeverzögerung)	DOI: 10.13140/RG.2.2.25946.57288
Paniagua Taboada, Dr. Octavio	FIZ Karlsruhe	Mathematik	Visualization of current cumulaative data on COVID-19	https://www.fiz-karlsruhe.de/sites/default/files/FIZ/Dokumente/FIZnews/FIZ-Special-Corona-COVID-19-pandemic.pdf
Priesemann, Dr. Viola	Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation		Studie zur „Zweiten Welle“	https://www.mpg.de/15409248/covid-19-corona-zweite-welle?c=2191 https://arxiv.org/pdf/2009.05732.pdf
Thiery, Florian M. Sc.	Research Squirrel Engineers	Semantische Modellierung	Semantische Modellierung von Linked Geodata	https://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/8590 http://squirrel.link/
	ifo Institut (ifo), Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung	Wirtschaftswissenschaft, Epidemiologie	Szenarienrechnung zur Eindämmung der Corona-Pandemie	https://www.ifo.de/DocDL/sd-2020-digital-06-ifo-helmholtz-wirtschaft-geundheit-corona_1.pdf
	RKI	Epidemiologie	Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 / Nowcasting	https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Modellierung_Deutschland.html https://bit.ly/3cjdS3r
	Swiss National COVID-19 Science Task Force	Epidemiologie	Kontinuierliche Echtzeit-Analyse der COVID-19-Epidemie auf kantonalen und gesamtschweizerischer Ebene	https://scienctaskforce.ch/policy-brief/modellierung-szenarien/ https://scienctaskforce.ch/policy-brief/proposal-transition-strategy/
Erwähnenswert				
Durak, Umut	Society of Modeling and Simulation International (SCS)		Modellierung und Simulation der Covid-19-Pandemie	https://www.asim-gi.org/asim/aktuelles/news-detail/modellierung-und-simulation-der-covid-19-pandemie
Nguyen-Kim, Dr. Mai Thi	Privatinitiative	Medienjournalismus	„So endet Corona“	https://youtu.be/pGJEVx0cRY

Tab. 1: Aufstellung von wissenschaftlichen Arbeiten, bedienbaren Simulationstools-/Modellen, Visualisierungen und Analysetools. Stand: Februar 2021. Quelle: MVF-Eigenrecherche. Kein Anspruch auf Vollständigkeit.

GB psych. Belastungen
gemäß § 5 ArbSchG.

STRESS
PEGEL

GB Psych jetzt entspannt angehen

Unsere anonyme Online-Befragung StressPegel bietet umsichtige Aktionsmedien, aussagekräftige Ergebnisse und eine gesunde Soforthilfe. Win-Win für Sie und Ihre Mitarbeiter. Interessiert? Details erfahren Sie unter 0201 4398-1940 von Ines Oelmann.