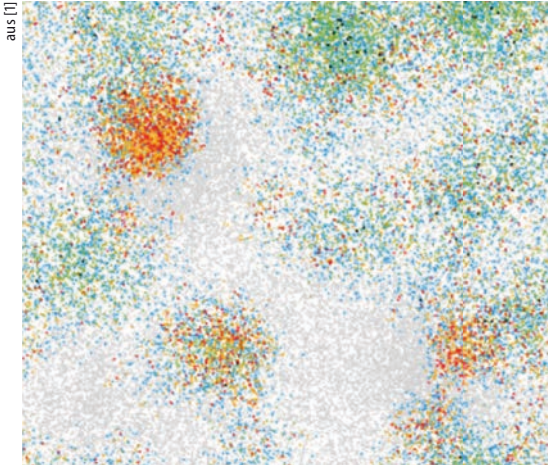


# Effektive Strategie gesucht

Physikalische Modelle zeigen, dass unterschiedliche Verteilungen knapper Impfdosen den Verlauf des Infektionsgeschehens deutlich beeinflussen können.

Gerhard Gompper



**Abb. 1** Die Verteilung anfälliger Personen (grau), angesteckter (orange), erkrankter (rot), geimpfter (blau) und gesunder (grün) Menschen sowie Todesfälle (schwarz) ist ein Ergebnis der Simulationen.

**B**is Anfang Januar 2021 sind laut Johns Hopkins University weltweit über 80 Millionen Menschen an Covid-19 erkrankt und fast zwei Millionen Menschen daran gestorben. Die Wissenschaft hat sehr schnell und mit großem Einsatz auf diese Pandemie reagiert: Fachleute aus Virologie, Biologie, Medizin und Pharmazie konnten in sehr kurzer Zeit das Genom des Virus entschlüsseln und Tests zum Nachweis der Infektion sowie Impfstoffe herstellen und prüfen. Insbesondere gelang es, die Herstellung neuer und wirksamer Impfstoffe um etwa einen Faktor 10 gegenüber der klassischen Impfstoffentwicklung zu beschleunigen.

Damit stellt sich die Frage, wie sich die neuen Impfstoffe möglichst effektiv für die Gesundheit der Bevölkerung einsetzen lassen. In einer aktuellen Arbeit [1] vergleichen Jens Grauer, Hartmut Löwen (U Düsseldorf) und Benno Liebchen (TU Darmstadt) verschiedene Strategien. Demnach kann eine zeitlich und räumlich variierende Impfintensität die Zahl der Todesfälle deutlich reduzieren.

Diese Arbeit ist nur ein Beispiel für die Bedeutung der Physik in der

Bekämpfung der Pandemie. Um die zugrundeliegenden Mechanismen längerfristig zu verstehen, spielen physikalische Modelle und Methoden eine wichtige Rolle [2]. Im Fall einer viralen Infektionsepidemie gehört es hierzu, auf molekularer und zellulärer Ebene effiziente Simulationen ebenso zu entwickeln wie präzise molekulare Kraftfelder, um die Wechselwirkung von Virusproteinen mit den Proteinen der Zellmembran und mit Arzneimittelmolekülen zu berechnen [3]. Außerdem gilt es, die Endozytose (Aufnahme) viraler Partikel durch die Zelle [4] und die Selbstassemblierung von Viren in infizierten Zellen zu untersuchen [5]. Wichtig sind überdies die physikalischen Mechanismen aus Hydro- und Aerodynamik bei der Übertragung von Mensch zu Mensch [2]. Hier stellt sich die Frage, wie sich Aerosoltröpfchen beim Atmen und Sprechen im Raum verteilen und wie dies effektiv zu unterbinden ist [6]. Auch die Ausbreitung einer Infektionskrankheit auf der Populationsebene lässt sich simulieren, und es zeigt sich, welche Maßnahmen diese verhindern bzw. reduzieren [7, 8]. In diesen Bereich fällt auch die Frage, mit welcher Stra-

tegie ein anfangs in begrenzter Menge verfügbarer Impfstoff effizient einsetzbar ist.

Grauer, Löwen und Liebchen teilen dazu die gesamte Population in sechs Kategorien ein [1]. Die anfälligen Personen waren noch nicht infiziert. Daneben gibt es angesteckte, erkrankte, geimpfte und gesundene Menschen sowie Todesfälle (**Abb. 1**). Angesteckte und Erkrankte bleiben für eine Latenzzeit  $t_L$  symptomfrei, in der sie aber ansteckend sind. Sie gesunden oder sterben nach einer gesamten Erkrankungszeit  $t_D$ . Alle Kleingruppen außer der Opfer bewegen sich diffusiv, und die Angesteckten und Erkrankten können andere Kleingruppen innerhalb eines Radius  $R_c$  mit einer Wahrscheinlichkeit  $b$  anstecken.

In ihrem Modell betrachten die Autoren drei Impfstrategien, für welche die Impfdosen unterschiedlich verteilt werden: demografisch gemäß der Bevölkerungsdichte, gewichtet mit der Inzidenzzahl (= Produkt der lokalen Anzahldichten von Anfälligen und Infizierten) sowie räumlich und zeitlich fokussiert. Bei letzterer erhalten die Regionen oder Städte mit der aktuell höchsten Inzidenzzahl alle verfügbaren Impfdosen. Die in-

## Kurzgefasst

### Konstanz untermauert

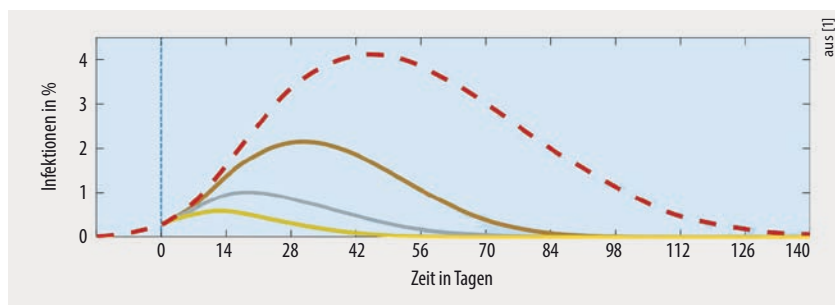
Mit einem Vergleich hochgenauer Cäsium- und Ytterbium-Uhren haben Forschende der PTB in Braunschweig gezeigt, dass die Feinstrukturkonstante  $\alpha$  ihren Wert innerhalb eines Jahres höchstens ab der 21. Nachkommastelle verändert und verbesserten so die Grenze einer möglichen Variation um einen Faktor 20. Die Feinstrukturkonstante beschreibt die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung. Moderne Stringtheorien sagen voraus, dass diese zeitlich variieren könnte.

R. Lange et al., Phys. Rev. Lett. **126**, 011102 (2021)

### Chinesischer Quantenvorteil

Forschende aus China haben mit einem photonenbasierten Quantencomputer ein Problem gelöst, das kein Supercomputer berechnen kann. Ihr Rechner Jiuzhang nutzt ein Interferometer aus hundert hoch-effizienten Einzelphotonen-Detektoren, um das Problem des „boson sampling“ zu lösen, das nach der Wahrscheinlichkeitsverteilung interferierender Bosonen sucht. Schon nach 200 Sekunden lagen Lösungen vor; die weltweit schnellsten Supercomputer bräuchten dagegen 2,5 Milliarden Jahre.

Han-Sen Zhong et al., Science **370**, 1460 (2020)



**Abb. 2** Die Impfstrategie beeinflusst den Zeitverlauf des Infektionsgeschehens: Bei der fokussierten (gelb), infektionsgewichteten (grau) und demografischen Strategie (braun) beginnen die Impfungen am nullten Tag (blau) und erreichen nach acht Wochen 40 Prozent der Population. Auch ohne Impfung (rot) tritt natürliche Herdenimmunität auf. Im dargestellten Beispiel beträgt die anfängliche Reproduktionszahl 2,5.

fektionsgewichtete Strategie beruht auf der Annahme, dass die Zahl der Opfer proportional zur Inzidenzzahl anwächst. Für jede Strategie untersuchen die Autoren die zeitliche Entwicklung der Zahl der Infektionen und der Todesfälle für verschiedene Parameterkombinationen, wie der anfänglichen Reproduktionszahl und der Impftrate (**Abb. 2**), und stellen sie dem Verlauf ohne Impfung gegenüber. In allen untersuchten Fällen führt die fokussierte Impfstrategie zu den besten Ergebnissen – insbesondere bei Reproduktionszahlen deutlich größer als 1 (**Abb. 3**). Bei so hohen Reproduktionszahlen bliebe es aber unerlässlich, Maßnahmen zur Kontaktreduktion zu ergreifen. Die besseren Ergebnisse der fokussierten Strategie lassen sich gut nachvollziehen, weil Impfungen dort besonders effektiv sind, wo die meisten Infektionen zu erwarten sind, beispielsweise aufgrund exponentiell anwachsender statistischer Fluktuationen.

Die Analyse [1] untermauert in hervorragender Weise, dass die Physik einen wichtigen Beitrag zu interdisziplinären Fragestellungen wie der Bekämpfung einer Pandemie leisten kann und sollte. In diesem Fall stellt sie einfache Modelle bereit und analysiert diese. So lassen sich alternative Blickpunkte und Ansätze aufzeigen, die andere Fachdisziplinen im Anschluss aufgreifen und verfeinern können. Die Vorschläge, Ergebnisse und Vorhersagen der Analyse sind allerdings auch im Kontext der rauen Wirklichkeit der Covid-19-Pandemie zu betrachten. Daraus ergeben sich folgende Anmerkungen:

- In Deutschland sollen die Impfungen fokussiert erfolgen. Allerdings liegt der Fokus nicht auf dem örtlichen Infektionsgeschehen, sondern ist an Alters- und Berufsgruppen gekoppelt. Menschen mit besonderem Risiko oder mit vielen Kontakten zu Erkrankten sollen zuerst geschützt werden. Dies ist im Modell derzeit (noch) nicht enthalten, erfüllt aber die Idee einer fokussierten Strategie.

- Um konkrete Vorhersagen in einer bestimmten Pandemie zu ermöglichen, gilt es, die Parameter des Modells quantitativ zu bestimmen. Das vorliegende einfache Modell besitzt bereits mehr als zehn Parameter; eine Erweiterung auf Alters- und Berufsgruppen würde deren Zahl deutlich vergrößern. Es ist Aufgabe der Epidemiologen, Abschätzungen für die Parameterwerte zu liefern [8].

- Für die Entwicklung der Pandemie sind verschiedene Zeitskalen entscheidend. Dazu gehören die Latenzzeit nach der Ansteckung, die (ex-

ponentielle) Wachstumszeit und die Impftrate. Wichtig ist auch, wie lange es dauert, die Impfzentren und die Logistik aufzubauen, um den Impfstoff zu verteilen. Die „politische“ Reaktionszeit beträgt bei uns etwa zwei bis vier Wochen, was eine räumliche und zeitliche Fokussierung wie im Modell schwer steuerbar macht.

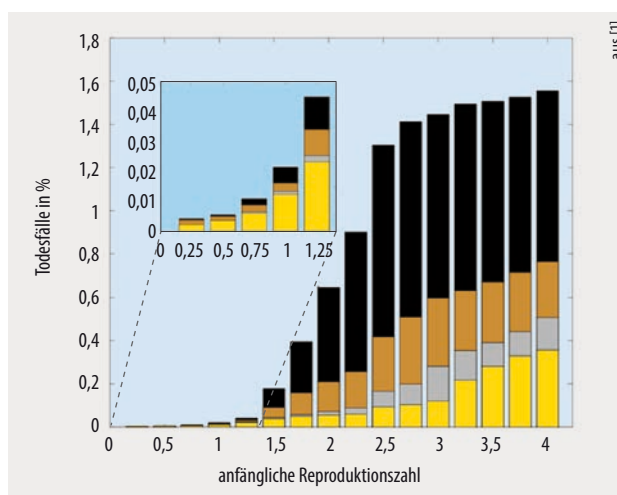
- Je nach regionaler Ebene für die räumliche Fokussierung (Stadtteile, Städte, Landkreise etc.) könnte es zu Verteilungskämpfen kommen, und der mögliche Widerstand von Impfgegnern ist schwer abzuschätzen.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen sich auch für die nächste Pandemie nutzen, wenn bereits jetzt die Entwicklung einer langfristigen Impfstrategie beginnt.

- [1] J. Grauer et al., *Sci. Rep.* **10**, 21594 (2020)
- [2] W. C. K. Poon et al., *Soft Matter* **16**, 8310 (2020)
- [3] P. Gkeka et al., *J. Chem. Theory Comput.* **16**, 4757 (2020)
- [4] S. Dasgupta et al., *J. Phys. Condens. Matter* **29**, 373003 (2017)
- [5] J. D. Perlmutter und M. F. Hagan, *Annu. Rev. Phys. Chem.* **66**, 217 (2015)
- [6] M. Abkarian et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **117**, 25237 (2020)
- [7] M. V. Barbarossa et al., *PLoS ONE* **15**, e0238559 (2020)
- [8] J. Dehning et al., *Science* **369**, eabb9789 (2020)

## Der Autor

**Prof. Dr. Gerhard Gompper**, Theoretical Physics of Living Matter, Institute of Biological Information Processing and Institute for Advanced Simulation, Forschungszentrum Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich



**Abb. 3** Auch die Todeszahlen hängen als Funktion der anfänglichen Reproduktionszahl davon ab, ob demografisch (braun), infektionsgewichtet (grau), fokussiert (gelb) oder gar nicht (schwarz) geimpft wird.