

Effektive Vorwarnzeit – ein Frühindikator für ein Management des Pandemiegeschehens in der COVID-19-Krise

Thomas Czihal, Dr. Lars E. Kroll, Dr. Edgar Steiger, Dr. Dominik von Stillfried

In den ersten Wochen der COVID-19-Pandemie konnte sich die Politik auf ein Ziel konzentrieren: die Abflachung des Zuwachses an Neuinfektionen, um das Gesundheitswesen nicht zu überlasten und damit Leben zu retten bzw. eine Rationierung lebensrettender Behandlungsmöglichkeiten zu vermeiden.¹ Nach der erfolgreichen Begrenzung der Ausbreitungsdynamik durch Kontaktbeschränkungen wird nunmehr klar, dass die Aufgabe der Politik für die nächsten Monate komplexer ist.

1. Herausforderung

Die Kontaktbeschränkungen in Deutschland und weltweit haben massive Auswirkungen auf die materiellen Lebensgrundlagen eines großen Teils der Bevölkerung.^{2 3} Zudem bestehen Anzeichen, dass Patienten mit akuten Beschwerden nicht rechtzeitig Kontakt zur Akut- und Notfallversorgung aufnehmen bzw. Vorsorge- und Früherkennungstermine sowie sekundärpräventive Wiederholungsuntersuchungen nicht wahrnehmen. Eine Fortführung der aktuellen Maßnahmen geht folglich mit erheblichen konkurrierenden Risiken einher.

Die Herausforderung besteht folglich darin, die Rückkehr zu einem leistungsfähigen Wirtschaftsgeschehen bzw. zu einem normalen medizinischen Versorgungsgeschehen bei laufender Kontrolle des Infektionsgeschehens zu gewährleisten.

Aktuell hat sich der Pandemieverlauf in Deutschland bei einer niedrigen Zahl von Neuinfektionen stabilisiert. Stand 05.05.2020 0:00 Uhr berichtet das RKI 21.929 akut infizierte Personen (Gesamtzahl der jemals Infizierten abzgl. Ausgeheilte und Verstorbene). Die Zahl der täglich neu Infizierten ist rückläufig. Der Höhepunkt des bisherigen Pandemieverlaufs ist somit deutlich überschritten (vgl. Abbildung 1).

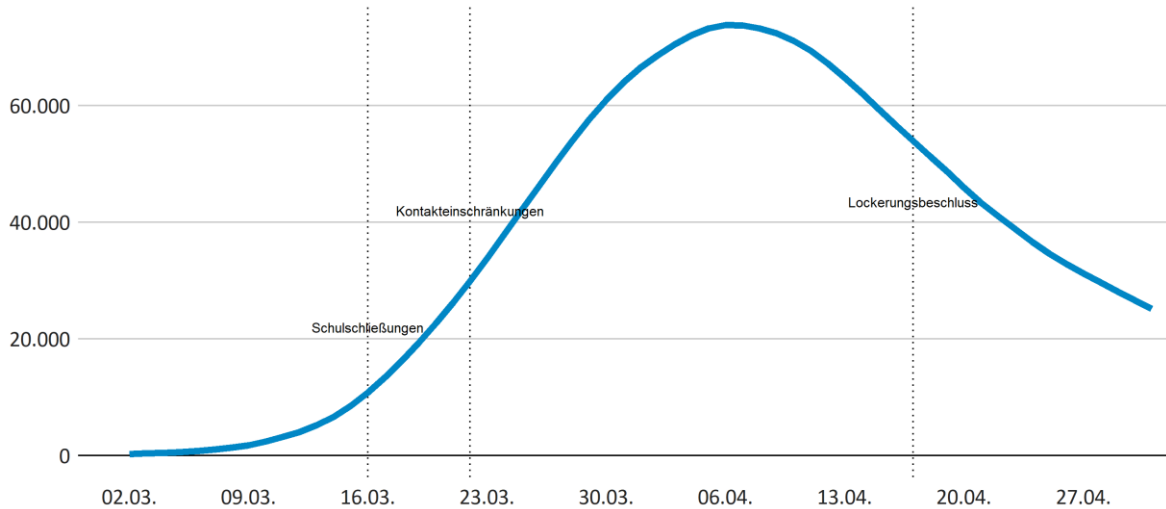
¹ BAND e.V. (2020)

² <https://www.nzz.ch/international/das-deutsche-innenministerium-denkt-in-einem-strategiepapier-ueber-szenarien-zwischen-einem-geordneten-ausstieg-aus-der-krise-und-corona-aufstaenden-nach-ld.1550352>

³ <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/altmaier-corona-rezession-101.html>

Entwicklung der COVID-19-Epidemie in Deutschland

Aktuelle Zahl akut COVID-19-Infizierter



Datenbasis: Robert Koch-Institut (RKI), Stand 05.05.2020, Fälle wurden geglättet (7 Tages-Mittelwert), Annahme: Infektionsdauer 10 Tage + 5 asymptomatische Tage.

Abbildung 1: Entwicklung der Zahl aktuell infizierter COVID-19-Patienten

Im aktuellen Umfang von rd. 22.000 akut Infizierten und rd. 900 neu Infizierten täglich ist die Behandlung durch das Gesundheitswesen gut leistbar, weil derzeit weder die ambulanten noch die stationären Behandlungskapazitäten ausgeschöpft werden.

2. Frühindikator als Navigationshilfe notwendig

Weitere Lockerungen der Beschränkungen wären auf dieser Basis vertretbar, solange allgemeine Vorsichtsmaßnahmen nicht missachtet werden. Im Raum steht jedoch die Sorge, dass ein plötzlicher Anstieg der Infektionen eintritt, auf den nicht mehr rechtzeitig reagiert werden kann und der in der Folge zu einer Überschreitung der Belastungsgrenze führen könnte. Bei geringen Infektionszahlen ist jedoch nicht jede Veränderung sofort begründeter Anlass für neue Restriktionen.

Als Navigationshilfe für die Politik fehlt somit ein vergleichsweise einfacher aber zuverlässiger Indikator dafür, wann eine Interventionsnotwendigkeit besteht. Primäres Ziel ist, dass die Epidemie beherrschbar bleibt, weitere Ziele sind, dass das Gesundheitswesen nicht überlastet wird, aber eben auch den konkurrierenden Risiken des Pandemiemanagements Rechnung getragen wird.

3. Ausgangspunkt: Belastungsgrenze des Gesundheitswesens

Nach einer aktuellen Studie sind nur ca. 20% aller COVID-19-Fälle vollständig symptomfrei⁴, die Mehrheit bedarf entweder einer ambulanten ärztlichen Behandlung, ein kleinerer Anteil muss zudem stationär versorgt werden.

⁴ Streeck u.a. (2020); Infection fatality rate of SARS-CoV-2 infection in a German community with a super-spreading event

Unter der Zielsetzung, dass alle Menschen in Deutschland im Infektionsfall Zugang zu notwendigen medizinischen Leistungen erhalten und Triage-Entscheidungen vermieden werden, stellt sich die Frage, wie viele Infektionen pro Tag rechnerisch zu einer Überforderung bzw. Überlastung des Gesundheitswesens führen würden. Diese Frage ist für die stationäre und ambulante Versorgung zunächst getrennt zu beantworten, um dann ein gemeinsames Bild zu zeichnen.

3.1. Belastungsgrenze der stationären Versorgung

Der Pandemieverlauf in Italien, in New York und England lenkt den Fokus auf die stationäre Versorgung und die intensivmedizinischen Kapazitäten. Kann die Abwendung akuter Lebensgefahr für eine große Zahl von Betroffenen mangels Ausstattung nicht mehr geleistet werden, entsteht eine massive Vertrauenskrise.

Deutschland ist im internationalen Vergleich mit intensivmedizinischen Kapazitäten sehr gut ausgestattet⁵, gleichwohl ist ein Pandemieverlauf denkbar, der auch diese Kapazitäten erschöpft. Um die Frage zu beantworten, bei wieviel Neuinfektionen pro Tag die Belastungsgrenze erreicht wäre, sind drei Informationen notwendig:

1. Wie hoch ist der Anteil der Infizierten, die intensivmedizinisch behandelt werden müssen?
2. Wie lange werden diese intensivmedizinisch versorgt?
3. Welche intensivmedizinischen Kapazitäten sind in Deutschland vorhanden?

Zu 1.: Für Deutschland ist die Datenlage zum Anteil der COVID-19-Patienten, die intensivmedizinisch versorgt werden müssen, derzeit noch unzureichend. Wir orientieren hier uns daher an zwei internationalen Studien, die eine Annahme von 5% intensivmedizinischer Behandlungsprävalenz zulassen.⁶ Das RKI hat in Modellrechnungen aus März 2020 eine intensivmedizinische Behandlungsrate von 4,5% bzw. 1,2% beatmungspflichtigen Patienten angenommen.⁷ Würde man die Ergebnisse von Streeck u.a. (2020) zur populationsbezogenen Verbreitung im Verhältnis zu den tatsächlich gemeldeten Infektionen an COVID-19 mit einbeziehen, läge der Anteil der intensivpflichtigen Patienten sogar unter 1%. Wir entscheiden uns hier aber vorerst für die konservative Annahme eines Anteils von 5% intensivpflichtiger Patienten bezogen auf die gemeldeten Neuinfektionen.

Zu 2.: Da international leider keine verlässlichen Informationen zum Anteil der beatmungspflichtigen Patienten vorliegen, nehmen wir keine Schätzung der Belastungsgrenze anhand der Beatmungsplätze vor. Wir gehen von einer Verweildauer von durchschnittlich 10 Tagen auf der Intensivstation aus.⁸

Zu 3.: Für die in Deutschland vorhandenen Intensivkapazitäten nutzen wir das DIVI-Intensivregister. Mit Stand vom 5. Mai 2020 sind dort 31.996 Betten gemeldet.⁹ In Analogie zum BMG-Papier „Ein

⁵ OECD (2020)

⁶ Guan u.a. (2020), „NCPERE Team“ (2020)

⁷ an der Heiden und Buchholz (2020)

⁸ In Übereinstimmung mit an der Heiden und Buchholz (2020) und unterstützt von ersten Ergebnissen Dreher u. a. (2020)

⁹ DIVI (2020)

neuer Alltag auch für den Klinikbetrieb in Deutschland“¹⁰ gehen wir davon aus, dass maximal 25% der vorhandenen Kapazitäten für COVID-19 genutzt werden können. Damit stehen maximal 8.167 intensivmedizinische Betten für die Versorgung von COVID-19-Patienten zur Verfügung.

Bei einer Behandlungsrate von 5% und 8.167 verfügbaren Behandlungsplätzen würde die Belastungsgrenze bei 163.340 gleichzeitig aktiv Infizierten erreicht. Geht man davon aus, dass COVID-19-Patienten im Mittel 10 Tage auf der Intensivstation¹¹ verbringen, wäre die intensivmedizinische Belastungsgrenze bei einer Rate von täglich 16.340 Neuinfektionen erreicht.

3.2. Belastungsgrenze der vertragsärztlichen Versorgung

Für die vertragsärztliche Versorgung kann an der Stelle vereinfacht werden, in dem die Frage gestellt wird, ob die Belastungsgrenze geringer ist als die oben hergeleiteten 163.340 aktiv Infizierten bzw. 16.340 täglichen Neuinfektionen. Um dies abzuschätzen, gehen wir von folgenden Annahmen zum Versorgungsaufwand aus:

Nach Angaben des RKI werden im Mittel rund sechs von sieben Infizierten ausschließlich ambulant versorgt. Erst mit einem steigenden Anteil älterer bzw. hochbetagter Infizierter nimmt auch der Anteil der stationär Behandelten leicht zu.¹²

Wir erwarten, dass für etwa 80% der COVID-19-Patienten eine telefonische „Erstbetreuung“ durch medizinisches Fachpersonal möglich ist, in der eruiert wird, ob eine ärztliche Konsultation notwendig wird. Für 20% der ambulant versorgten Patienten bestehen erwartungsgemäß besondere Risiken durch Alter oder Grunderkrankungen. Diese Personen müssen intensiv durch tägliche Besuche ärztlich versorgt werden.¹³ Hier könnte ein potenzieller Engpassfaktor liegen.

Wir schätzen, dass für einen Arztbesuch mit Anfahrts- und Rüstzeit 50 Minuten notwendig sind. Aufgrund des hohen Anteils von Ärzten, die in Teilzeit in der vertragsärztlichen Versorgung tätig sind, unterstellen wir eine mittlere tägliche Arbeitszeit von 6 Stunden für Hausbesuche. Dementsprechend kann ein Arzt ca. 7 Besuche pro Tag leisten.

Am Rande der Belastungsgrenze für die intensivmedizinische Versorgung, also bei 163.340 aktiv Infizierten bzw. täglich 16.340 neu Infizierten, ergeben sich 28.000 Besuche, die am Tag zu leisten wären. Dafür wären rechnerisch 3.889 Ärzte notwendig. Dies entspricht rd. 2,5% aller in der vertragsärztlichen Versorgung tätigen Ärzte. In der Regelversorgung werden rd. 1,8 Mio. Behandlungsfälle alleine in der hausärztlichen Versorgung geleistet, zu denen auch der größte Anteil der COVID-19-Patienten mit besonderen Risiken gehören dürfte.

¹⁰

https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/C/Coronavirus/Faktenpapier_Neuer_Klinikalltag.pdf

¹¹ An der Heiden und Buchholz (2020)

¹² RKI-Lageberichte zu COVID-19 aus März, April und Mai 2020

¹³ Bätzing u. a. (2020)

3.3. Belastungsgrenze im deutschen Gesundheitswesen

Wir kommen daher zu dem Schluss, dass auch unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Zeitbedarfs für die telefonische Betreuung der übrigen COVID-19-Fälle die Belastungsgrenze der vertragsärztlichen Versorgung nicht unter der für die intensivmedizinische Versorgung liegt. Maßgeblich ist somit die intensivmedizinische Behandlungskapazität für die Festlegung der Belastungsgrenze. Sie liegt bei 163.340 aktiv Infizierten bzw. täglich 16.340 Neuinfektionen.

4. Reproduktionszahl

In der Epidemiologie besteht weitgehende Einigkeit, dass die Reproduktionszahl R die maßgebliche Kenngröße für die Bewältigung der Pandemie ist. Nahezu alle Modellierungen zur weiteren Entwicklung der Fallzahlen und zur zukünftigen Auslastung medizinischer Einrichtungen basieren auf dieser Kennzahl. Sie muss dafür allerdings in Kombination mit der Zahl der aktuell akut Infizierten betrachtet werden. Die Reproduktionszahl R beschreibt, wie viele weitere Personen eine infizierte Person in einem bestimmten Zeitraum ansteckt. Wir gehen wie die meisten COVID-19-Modellierungen davon aus, dass die Periode, über die diese Ansteckungen erfolgen, 10 Tage andauert.¹⁴ In dieser Zeit steckt eine infizierte Person rechnerisch R neue Personen an. Vernachlässigt man weitere Details zum Infektionsgeschehen, kommen rechnerisch jeden Tag je akut infizierter Person im Mittel $R/10$ neue Infizierte dazu.

Auf Basis der vorangegangenen Meldungen des RKI wurde mit einer international etablierten Methodik¹⁵ die Reproduktionszahl geschätzt und ihr Verlauf dargestellt (Abbildung 2). Zum 01.05.2020 betrug der Wert nach unseren Berechnungen $R=0,67$.

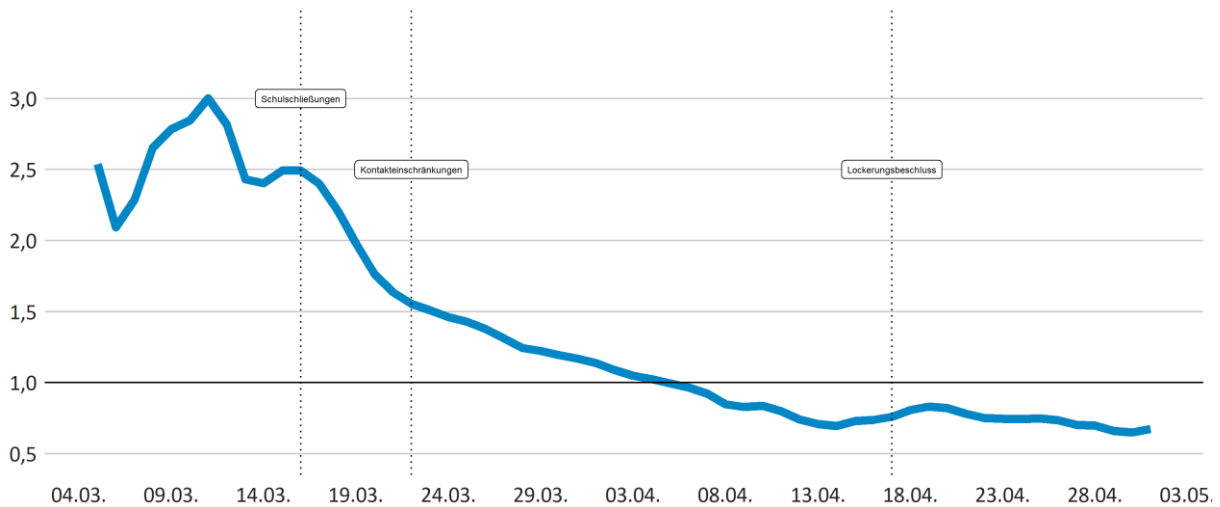
Seit dem 02.04.2020 sinken die an das RKI neu gemeldeten Fälle, so dass auch die Zahl der aktuell Infizierten seit einem Höhepunkt um etwa Ostern herum kontinuierlich sinkt (vgl. Abbildung 1). Seit dem 05.04.2020 bewegt sich die Reproduktionszahl im Bund kontinuierlich unter 1, auch die gemeldeten neu infizierten Fälle sinken weiter. Sowohl die Schulschließungen als auch die weiteren Kontakteinschränkungen haben offenbar zu einer deutlichen Absenkung der Reproduktionszahl beigetragen: Vom Zeitpunkt der beschlossenen Schulschließungen (16.03.2020) verringerte sich R von 2,5 auf 1,5 innerhalb einer Woche, und sank mit den Kontaktbeschränkungen innerhalb weiterer 14 Tage auf einen Wert unter 1 am 05.04.2020.

¹⁴ an der Heiden und Buchholz (2020)

¹⁵ Thompson u. a. (2019), Cori u. a. (2013)

Ausbreitungsgeschwindigkeit von COVID-19 in Deutschland

Reproduktionszahl R_t nach Datum



Datenbasis: Robert Koch-Institut (RKI), Stand 05.05.2020 0:00 Uhr

Abbildung 2: Reproduktionszahl im Bund

Ein Anstieg der Reproduktionszahl über 1 kann jedoch relativ schnell wieder zu erheblichen Neuinfektionen mit exponentiellem Wachstum führen. Die weitere Entwicklung der Reproduktionszahl und der Veränderung der gemeldeten täglichen Fallzahlen muss darum genau überwacht werden. Nicht jede Veränderung ist jedoch gleich bedeutsam, da z.B. wochentagsbedingte Schwankungen bei den Meldezahlen existieren und bei kleineren Fallzahlen schnell zu einer großen Spannweite führen. Wir empfehlen eine gemittelte Betrachtung. Hieraus leitet sich der Indikator ‚Vorwarnzeit‘ ab.

5. Vorwarnzeit

Hierbei gehen wir vom Prinzip der Projektion aus. Ausgehend von der Höhe und der Entwicklung der täglich gemeldeten Neuinfektionen und der aus dem bisherigen Geschehen errechneten Reproduktionszahl R wird die weitere Entwicklung der Fallzahlen bei gegebenem $R > 1$ unterstellt. R wird fiktiv modifiziert („Was wäre, wenn R auf 1,3 gestiegen wäre?“). Anhand dieser einfachen Modellierung kann geschlossen werden, in welcher Zeit die Belastungsgrenze des Gesundheitswesens erreicht würde.

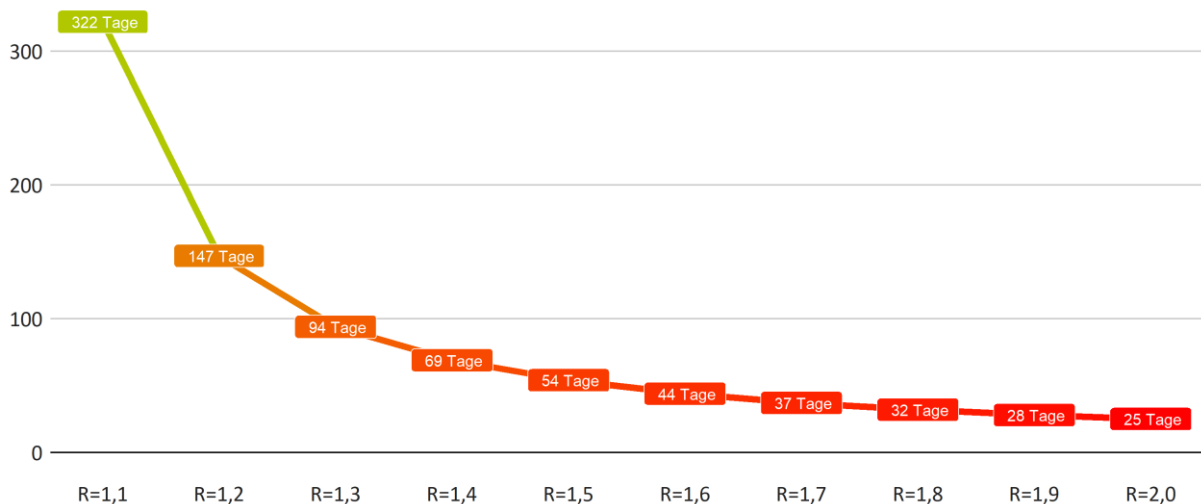
Wir bezeichnen diesen Zeitraum als Vorwarnzeit. Ausgehend von der Überlegung, dass die Belastungsgrenze des Gesundheitswesens nicht erreicht werden soll, kann der Zeitraum genutzt werden, die Bevölkerung zu informieren oder ggf. neue Interventionen vorzubereiten bzw. in Kraft zu setzen.

Die Vorwarnzeit wird anhand der mittleren Fallzahlentwicklung der letzten 10 Tage aufsetzend auf einen Ausgangswert errechnet. Der Ausgangswert wird konservativ gewählt. Er entspricht dem Mittelwert über 10 Tage bis zu einem Stichtag. Hierbei werden die neu gemeldeten Infektionszahlen der letzten drei Tage nicht berücksichtigt, um aktuelle Schwankungen der Meldezahlen auszugleichen.

Am 06.05.2020 wird der Ausgangswert mit 831 Neuinfektionen täglich festgelegt. Auf Basis der Fallzahlentwicklung bis zum 01.05.2020 ergibt sich ein tatsächliches R von 0,67. Wäre die Entwicklung stattdessen anders verlaufen und R läge über 1 wird die Vorwarnzeit am 05.05.2020 bezogen auf unterschiedliche R-Werte ausgewiesen (Abbildung 3). Läge R zwischen R=1,2 und R=1,3, hätte die Politik am 05.05.2020 folglich zwischen etwa 90 und 150 Tagen Zeit, um mit angepassten Maßnahmen zu reagieren, damit die Belastungsgrenze des Gesundheitswesens nicht erreicht wird.

Vorwarnzeit bis ICU-Überlastung bei erneutem Anstieg der Reproduktionszahl

Zeit in Tagen nach Reproduktionszahl ausgehend von aktuell 831 Neuinfektionen pro Tag



Quelle: Modellierung Zi, Stand: 05.05.2020, Ausgangspunkt: Durchschnittlich 831 neue Fälle pro Tag (MW über die letzten 10 Meldetage). ICU-Kapazität reicht kurzfristig für 16.340 neue Fälle pro Tag

Abbildung 3: Vorwarnzeit bei erneutem Anstieg von R über 1,0.

Je höher der R-Wert desto geringer folglich die Vorwarnzeit bei gleichen Ausgangsvoraussetzungen. Bei einem R-Wert von 1,5 oder höher verbleibt weniger als 2 Monate bis Maßnahmen wirksam sein müssen, um die oben definierte Leistungsgrenze des Gesundheitswesens nicht zu erreichen.

6. Effektive Vorwarnzeit

Bei der Interpretation des in Abbildung 3 dargestellten Zeitfensters müssen einschränkende Faktoren berücksichtigt werden:

1. Betroffene lassen sich in der Regel erst nach dem Auftreten erster Symptome (ca. 5 Tage nach der Ansteckung) testen.
2. Der R-Wert ist aufgrund des Meldeverzugs beim RKI für die letzten drei Tage nicht sinnvoll zu interpretieren.
3. Der Zeitbedarf bis zum Beschluss und Inkrafttreten von Maßnahmen des Pandemiemanagements muss berücksichtigt werden (Annahme: 6 Tage).
4. Ein Zeitraum bis zur Wirkung der Maßnahme muss unterstellt werden (Annahme: Wirksamkeit innerhalb von 7 Tagen).

Insgesamt gehen wir somit vereinfachend davon aus, dass sich diese Verzögerungen auf bis zu 21 Tage addieren können, bis ein „Bremseffekt“ wirksam wird. Die effektive Vorwarnzeit ist somit das

um 21 Tage gekürzte Zeitfenster aus Abbildung 3. Am 05.05.2020 wären somit R-Werte über 1,5 als kritisch einzustufen gewesen.

7. Diskussion

Aktuell ist die Pandemie weit davon entfernt, die Belastungsgrenze des Gesundheitswesens zu testen. Eine negative Veränderung der aktuellen Lageeinschätzung ergibt sich nur, sofern die täglichen Neuinfektionszahlen über einen längeren Zeitraum zunehmen und damit die Reproduktionszahl wieder über $R=1$ steigt. Da nicht jeder Ausschlag von R über 1 aber gleich relevant ist, schlagen wir vor, die Vorwarnzeit täglich neu anhand der Entwicklung der neu gemeldeten Fallzahlen zu berechnen.

Der Vorteil dieses Indikators ist, dass nicht jede Veränderung sofort einen „Alarmmodus“ auslösen muss, wenn genug Zeit besteht, sich die Entwicklung ohne Gefährdung der Versorgung zunächst weiter anzusehen und erst bei einer sich verstetigenden Entwicklung noch rechtzeitig agieren zu können. Vereinfachend kann die effektive Vorwarnzeit ausgewiesen werden. Hierbei ist hervorzuheben, dass die R-Werte nicht absolut, sondern immer in Verbindung mit dem absoluten Niveau der Fallzahlen zu interpretieren sind; dies würde bei täglicher Neuberechnung „automatisch“ erfolgen.

Die effektive Vorwarnzeit soll eine verstetigende Politik des Pandemiemanagements unter Würdigung der konkurrierenden Risiken unterstützen. Das Konzept dient dazu, die Belastungsgrenze des Gesundheitswesens möglichst nicht zu erreichen oder gar zu überschreiten. Das vorgeschlagene Konzept nutzt den aktuellen verfügbaren Wissensstand und muss anhand der verfügbaren wissenschaftlichen Daten und Veröffentlichungen laufend aktualisiert werden. Das Modell stellt eine „Momentaufnahme“ mit Bezug auf die beim RKI gemeldeten Infektionszahlen dar. Sollten diese sich aufgrund einer modifizierten Teststrategie, insbesondere in Bezug auf die Testung asymptomatischer Personen, strukturell verändern, müssen die Modellparameter entsprechend angepasst werden.

Die tatsächliche Belastungsgrenze wird bei einem Pandemiemanagement mit größeren Lockerungen aber nicht nur durch ein Ausschöpfen der Kapazitäten der Intensivbehandlung definiert. Sofern die Gesundheitsämter keine technischen und personellen Ressourcen haben, alle Kontaktpersonen von Neuinfizierten schnell und effektiv zu ermitteln (contact-tracing), stellt die Leistungsfähigkeit der Gesundheitsämter in der jetzigen Phase der Pandemie eine relevante Belastungsgrenze dar. Welche Anzahl von Neuinfizierten effektiv noch kontrolliert werden kann, muss in den kommenden Wochen konkretisiert und möglichst gesteigert werden.

R sollte auch regional und altersgruppenspezifisch betrachtet werden, um besondere Gefährdungslagen bestimmter Bevölkerungsgruppen schnell und wirksam zu identifizieren. Weiterhin ist mehr Wissen über Effektivität und Wirkungsdauer bestimmter Interventionsmaßnahmen notwendig, als wir bisher haben. Allein aus Betrachtung des Anstiegs der gemeldeten Neuinfektionen lässt sich aber abschätzen, ob und wie stark Politik und Gesellschaft reagieren müssen, um eine eventuelle zweite Welle der Pandemie in Deutschland wirksam zu begrenzen.

Quellen

an der Heiden und Buchholz, *Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland* (20.3.2020), DOI: 10.25646/6571.2.

Bätzing u. a., *Häufigkeiten von Vorerkrankungen mit erhöhtem Risiko für schwerwiegenden COVID-19-Verlauf*, in: *Versorgungsatlas* (unveröffentlichtes Manuskript, 2020), DOI: 10.20364/VA-20.05.

Bundesvereinigung der Arbeitsgemeinschaften Notärzte Deutschlands (BAND) e.V., *Leitplanken für Notärztinnen und Notärzte bei der Zuteilung von Behandlungsressourcen im Kontext der COVID-19-Pandemie*, Bundesvereinigung der Arbeitsgemeinschaften Notärzte Deutschlands (30.3.2020), URL: https://www.divi.de/images/Dokumente/BAND_Zuteilung_von_Ressourcen_200330.pdf (Stand: 5.5.2020)

Cori u. a., *A New Framework and Software to Estimate Time-Varying Reproduction Numbers During Epidemics*, in: *American Journal of Epidemiology* 178(9) (2013), S. 1505-1512, DOI: [10.1093/aje/kwt133](https://doi.org/10.1093/aje/kwt133).

Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), *DIVI Intensivregister Tagesreport* (5.5.2020), URL: https://divi.de/images/Dokumente/Tagesreport_Intensivregister_PDF/DIVI-IntensivRegister_Tagesreport_2020_05_05.pdf (Stand 5.5.2020).

Dreher u.a., *Charakteristik von 50 hospitalisierten COVID-19-Patienten mit und ohne ARDS* (2020), URL: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/213454/Charakteristik-von-50-hospitalisierten-COVID-19-Patienten-mit-und-ohne-ARDS>

Guan u.a., *Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China*, in: *The New England Journal of Medicine* 382 (2020), S. 1708-1720, DOI: 10.1056/NEJMoa2002032.

„NCPERE TEAM“, *The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China*, in: *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi* 41(2) (2020), S. 145-151, DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.003.

OECD, *Beyond Containment: Health systems responses to COVID-19 in the OECD* (16.4.2020), URL: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/beyond-containment-health-systems-responses-to-covid-19-in-the-oecd/> (Stand: 5.5.2020).

RKI-Lageberichte zu COVID-19 URL:

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Archiv.html

Streeck u. a., *Infection fatality rate of SARS-CoV-2 infection in a German community with a super-spreading event* (2020), URL: [https://www.ukbonn.de/C12582D3002FD21D/vwLookupDownloads/Streeck_et_al_Infection_fatality_rate_of_SARS_CoV_2_infection2.pdf/\\$FILE/Streeck_et_al_Infection_fatality_rate_of_SARS_CoV_2_infection2.pdf](https://www.ukbonn.de/C12582D3002FD21D/vwLookupDownloads/Streeck_et_al_Infection_fatality_rate_of_SARS_CoV_2_infection2.pdf/$FILE/Streeck_et_al_Infection_fatality_rate_of_SARS_CoV_2_infection2.pdf) (Stand 5.5.2020).

Thompson u. a., *Improved inference of time-varying reproduction numbers during infectious disease outbreaks*, in: *Epidemics* 29 (2019), S. 100356, DOI: [10.1016/j.epidem.2019.100356](https://doi.org/10.1016/j.epidem.2019.100356).