

**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

10

**Schätzung der aktuellen Entwicklung der SARS-CoV-2- Epidemie in Deutschland – Nowcasting**

**Erläuterung zu den verwendeten Daten** Es besteht ein großes Interesse daran das aktuelle Infektionsgeschehen und die zeitnahe Entwicklung von SARS-CoV-2-Infektionen und Covid-19-Erkran- kungsfällen in Deutschland darzustellen und zu verstehen. Naturgemäß kann niemand die tatsäch- liche Anzahl der heute oder in der vergangenen Wo- che erfolgten Infektionen genau wissen oder be- stimmen. Erst wenn die betroffenen Personen posi- tiv getestet wurden, kann deren Anzahl in einem Erhebungssystem erfasst und analysiert werden. Ganz allgemein gilt jedoch, dass nicht alle infizier- ten Personen Symptome entwickeln, nicht alle die Symptome entwickeln suchen eine Arztpraxis auf, nicht alle die zum Arzt gehen werden getestet und nicht alle die positiv getestet werden, werden auch in einem Erhebungssystem erfasst. Außerdem ver- geht zwischen all diesen einzelnen Schritten eine gewisse Zeit, so dass kein Erhebungssystem, und sei es noch so gut, ohne zusätzliche Annahmen und Berechnungen eine Aussage über das aktuelle In- fektionsgeschehen machen kann.

In Deutschland werden gemäß der Meldepflicht nach Infektionsschutzgesetz (IfSG) Infektionen mit SARS-CoV-2 von den Ärzten und Laboren an die zu- ständigen Gesundheitsämter gemeldet und von die- sen über die zuständigen Landesbehörden an das [Robert Koch-Institut (RKI)](https://www.rki.de/DE/Home/homepage_node.html) übermittelt.

Zum aktuellen Datenstand (8.4.2020, 00:00 Uhr) lagen 103.140 SARS-CoV-2-Fälle vor. Darunter waren 50.761 (49,8 %) Männer und 51.988 (50,0 %) Frauen. Bei 391 (0,2 %) weiteren Fällen war das Geschlecht entweder divers, nicht erhoben oder nicht bekannt. Der Altersmedian lag bei 50 Jahren (Interquartilsab- stand [IQR]: 33 – 61 Jahre), zu 207 Fällen lagen keine Altersangaben vor. Trägt man die Fälle nach dem Datum des Eingangs am RKI auf so ergeben sich die Kurven in Abbildung 1. Insgesamt wurden von den Gesundheitsämtern bis zu 6.000 Fälle pro Tag an das RKI übermittelt, in den letzten Tagen etwas we- niger. Eine getrennte Darstellung dieser Entwick- lung nach Geschlecht und Altersgruppen zeigt vor allem eine deutliche ansteigende Anzahl von neuen

Erkrankungsfällen in der Altersgruppe (80+).

**Anzahl neuer SARS-CoV-2-Fälle**

6.000

4.000

2.000

0

**Datum des Eingangs am RKI**

**Abb. 1 |** Entwicklung der Anzahl von neuen SARS-CoV-2 Fällen in Deutschland nach Datum der Übermittlung an das RKI. Die gestrichelten vertikalen Linien kennzeichnen den Start der in Tab. 1 (S. 15) genannten Maßnahmen am 9. März,

16. März und 23. März 2020.



**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

11

Die dem RKI von den Gesundheitsämtern täglich übermittelten Fälle spiegeln, wie oben ausgeführt, nicht direkt das aktuelle Infektionsgeschehen wider. Der zeitliche Verlauf des aktuellen Infektionsgesche- hens wäre am besten durch die Anzahl der täglich erfolgten Infektionen darstellbar. Der genaue Infek- tionszeitpunkt ist aber in den allermeisten Fällen nicht bekannt oder ermittelbar.

dung an das RKI zeigt, dass 50 % der Fälle nach 7 Tagen übermittelt wurden. Für die meisten Fälle liegt diese Dauer zwischen 5 und 10 Tagen. Eine Analyse der zeitlichen Dynamik dieser Verteilung nach dem Tag des Eingangs am RKI ergab: Der Mit- telwert stieg zwischen dem 12. und 21. März von 5,3 Tagen auf 6,6 Tage. Zwischen dem 22. und 28. März lag er bei etwa 8 Tagen, zwischen dem 29. und 31. März bei etwa 9 Tagen. Seit dem 1. April sinkt die Dauer von Erkrankungsbeginn bis zur Übermitt- lung der Meldung an das RKI eher wieder und lag zuletzt bei etwa 8 Tagen. Diese Verschiebungen werden bei der Imputation der fehlenden Werte des

Erkrankungsbeginns berücksichtigt.

**Imputation von fehlenden Werten zum Erkrankungsbeginn**

Um die aktuelle Entwicklung der SARS-CoV-2- Epidemie darzustellen ist daher das Erkrankungs- datum (Datum des Symptombeginns) der am bes- ten geeignete und aus den Meldedaten zur Verfü- gung stehende Parameter. Der Erkrankungsbeginn wurde bei 62.909 (61 %) Fällen von den Gesund- heitsämtern angegeben. In manchen Fällen einer bestätigten SARS-CoV-2-Infektion entwickelt sich ein asymptomatischer Verlauf, so dass es nie zu ei- nem Erkrankungsbeginn kommt. Trotzdem wird auch diesen Fällen in Rahmen unserer Analyse ein künstlicher Erkrankungsbeginn zugeordnet, sie werden behandelt, als handele es sich um eine feh- lende Angabe des Erkrankungsbeginns. In 511 Fällen war der zeitliche Abstand zwischen dem Datum der Übermittlung an das RKI und dem Erkrankungsbe- ginn negativ oder lag über 30 Tage\*. Diese Fälle wur- den bei der nachfolgenden Analyse und der Imputa- tion des Erkrankungsbeginns nicht miteinbezogen.

Zur Durchführung der *multiplen Imputation* wurden (getrennt nach Geschlecht und Altersgruppe) jeweils 200 Realisationen aus der empirischen Ver- teilung der Dauer zwischen Erkrankungsbeginn und Übermittlungsdatum den Fällen ohne Erkrankungs- beginn zugeordnet. Die Differenz zwischen dem Übermittlungsdatum und diesem Abstand ergibt dann die verschiedenen Realisierungen des simu- lierten Erkrankungsbeginns. Damit erhalten wir eine Schätzung des Erkrankungsbeginns der bereits übermittelten Fälle (s. Abb. 2 „Erkrankungsbeginn imputiert“, S. 12).

**Erläuterung des Nowcastings**

Das Nowcasting **2** erstellt eine Schätzung des Verlaufs der Anzahl von bereits erfolgten SARS-CoV-2-Erkran- kungsfällen in Deutschland unter Berücksichtigung des Diagnose-, Melde- und Übermittlungsverzugs. Dazu ermitteln wir den Anteil an Fällen, der nach ei- ner bestimmten Anzahl von Tagen, x, nach Erkran- kungsbeginn gemeldet wurde. Dieser Anteil wird ver- wendet um die Anzahl der übermittelten Meldungen mit Erkrankungsbeginn x Tage vor dem Stand der Analyse zu korrigieren. Dabei muss beachtet werden, dass für erst kürzlich erkrankte Fälle nur diejenigen mit kurzen Diagnose-, Melde-und Übermittlungsab- ständen bereits erfasst wurden.**3**

Als Verfahren für das Ersetzen dieser fehlenden An- gaben wurde eine sogenannte *multiple Imputation* durchgeführt,**1** bei der die fehlenden Datenwerte auf- grund der statistischen Zusammenhänge der be- kannten Daten geschätzt werden. Als wichtigste An- gabe zur Ermittlung des fehlenden Erkrankungsbe- ginns wurde dabei das Datum des Eingangs der Fall- meldung am RKI verwendet, die fehlenden Werte wurden getrennt nach Geschlecht und Altersgruppe geschätzt.

Die Verteilung der Dauer zwischen Erkrankungsbe- ginn und dem Datum der Übermittlung der Mel-

Im momentanen Verfahren treffen wir die vereinfa- chende Annahme, dass die Korrektur über die Zeit konstant ist. Eine Evaluation dieser Annahme zeigt, dass die geschätzte Verteilung des Anteils über die Zeit sich zu einer vollständigeren Übermittlung

\*Anmerkung: Eine Dauer von 0 Tagen oder sogar kleine negative Dauern lassen sich durch Fälle erklären, die im Rahmen einer Kontaktpersonen-Nachverfolgung eines bestätigten Falles getestet wurden und erst nach dem positiven Test Symptome entwickelt haben.



**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

12

Fälle:

ErkrBeginn angegeben ErkrBeginn imputiert Nowcast

95%-PI

95%-PI

**Anzahl neuer Fälle**

10.000

8.000

6.000

4.000

2.000

0

**Datum des Erkrankungsbeginns**

**Abb. 2 |** Geschätzte Entwicklung der Anzahl von neuen SARS-CoV-2-Fällen in Deutschland (Nowcast) aufgrund teilweise imputiertem Datum des Erkrankungsbeginns und adjustiert für Diagnose- und Meldeverzug mit 95 %-Prädiktionsintervallen (95 %-PI).

Die gestrichelten vertikalen Linien kennzeichnen den Start bestimmter Maßnahmen am 9. März, 16. März und 23. März, s. Tab. 1 (S. 15). Dargestellt bis zum 4. April; 3 Tage vor dem Stand der Analyse.

nach einer gegebenen Anzahl von Tagen hin ent- wickelt. Daher führt das Nowcasting eher zu einer leichten Überschätzung der erwarteten Anzahl von Erkrankungsfällen.

kleiner Teil dieser Fälle erfasst wird. Insgesamt ten- diert das Nowcasting dazu relativ sensitiv auf Schwan- kungen der Anzahl neuer Fälle in der Nähe des Stands der Auswertung zu reagieren, stabilisiert sich dann aber nach wenigen Tagen, wenn sich der Anstieg oder Rückgang nicht bestätigt (s. Abb. 3, S. 13).

**Ergebnisse des Nowcastings**

Der Verlauf der Kurve der an das RKI übermittelten Fälle (grau und dunkelblau) liegt vor allem in den letzten 10 Tagen deutlich unter dem geschätzten Verlauf der bereits symptomatischen Fälle (hellblau) in Deutschland, die einen Erkrankungsbeginn vor wenigen Tagen hatten und erst zu einem kleinen Teil diagnostiziert, gemeldet und übermittelt wur- den (s. Abb. 2). Der für den Melde- und Übermitt- lungsverzug korrigierte Verlauf der zu erwartenden neuen Fälle steigt zunächst stetig an, stabilisiert sich aber ab dem 16. März auf einem Niveau von etwa

5.000 neuen Fällen pro Tag. Seit dem 30. März steigt diese Anzahl möglicherweise auf über 6.000 neue Fälle pro Tag (s. Abb. 2).

Eine Betrachtung der Entwicklung nach Geschlecht und Altersgruppen (0 – 19, 20 –39, 40 –59, 60 –79 und 80+) zeigt, dass die prognostizierte Anzahl von Fällen pro 100.000 Einwohner in der Altersgruppe (80+) besonders stark ansteigt. Dies wird sich ver- mutlich auch in einem stärkeren Anstieg der An- zahl von hospitalisierten Fällen und intensivpflich- tigen Fällen zeigen. In absoluten Zahlen dominie- ren die Erwachsenen im Alter von 20 –79 Jahren, auf Grund des hohen Anteils an der Gesamtbevöl- kerung vor allem die 40- bis 59-Jährigen.

**Schätzung der Reproduktionszahl R** Aufbauend auf dem Nowcasting kann eine Schätzung der zeitabhängigen Reproduktionszahl R durchge- führt werden. Die Reproduktionszahl ist die Anzahl der Personen, die im Durchschnitt von einem Index- fall angesteckt werden. Basierend auf dem aktuellen Wissensstand gehen wir davon aus, dass zwischen der Ansteckung und dem Beginn der ersten Symptome im Mittel 5 Tage vergehen. Vermutlich sind infizierte

Die 95 %-Prädiktionsintervalle zeigen die Unsicher- heit aufgrund der Adjustierung nach dem Diagnose- und Meldeverzug als auch aufgrund der teilweise feh- lenden Angaben zum Erkrankungsbeginn. Das Nowcasting verhält sich instabil für Fälle mit einem Erkrankungsbeginn 3 Tage oder weniger vor dem Stand der Analyse, da innerhalb von 3 Tagen ein zu



**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

13

Stand Nowcast:

27.03.

28.03.

27.03.

28.03.

29.03.

30.03.

29.03.

30.03.

31.03.

01.04.

31.03.

01.04.

02.04.

03.04.

02.04.

03.04.

04.04.

05.04.

04.04.

05.04.

06.04.

07.04.

06.04.

07.04.

Stand Meldungen:

10.000

8.000

6.000

4.000

2.000

0

**Datum des Erkrankungsbeginns**

**Abb. 3 |** Vergleich der geschätzten Entwicklung der Anzahl von SARS-CoV-2-Fällen in Deutschland (Nowcast) zu verschiedenen Datenständen, die aktuelle Schätzung mit Prädiktionsintervall. Die gestrichelten vertikalen Linien kennzeichnen den Start bestimm- ter Maßnahmen am 9. März, 16. März und 23. März, s. Tab. 1 (S. 15).

Personen aber bereits etwa 2 Tage vor dem Symptom- beginn infektiös und können also bereits 3 Tage nach der eigenen Exposition weitere Personen anstecken. Die Generationszeit beschreibt die mittlere Zeitspan- ne von der Infektion einer Person bis zur Infektion der von ihr angesteckten Folgefälle. Diese Zeitspanne schätzen wir auf etwa 4 Tage, weil die Infektiosität zu Beginn der Infektion besonders hoch ist und sich die infizierte Person vor dem Symptombeginn nicht dar- über bewusst ist, dass sie bereits andere anstecken kann. Die Generationszeit ist dabei keine stabile Ei- genschaft des Erregers, sondern hängt ebenso wie die Reproduktionszahl von verschiedenen Faktoren ab und kann sich über die Zeit verändern. Zum Beispiel führen Maßnahmen zur Isolation von bestätigten Fäl- len und Quarantäne von Kontaktpersonen nicht nur zu einer Verringerung der Anzahl von Folgefällen, sondern auch zu einer Verkürzung der Generations- zeit, weil die wenigen Ansteckungen direkt am An-

fang der Infektion passieren.

ten zu bestätigen SARS-CoV-2-Neuerkrankungen zu schätzen.

Bei einer konstanten Generationszeit von 4 Tagen, er- gibt sich R als Quotient der Anzahl von Neuerkran- kungen in zwei aufeinander folgenden Zeitabschnit- ten von jeweils 4 Tagen. Hat sich die Anzahl der Neuerkrankungen im zweiten Zeitabschnitt erhöht, so liegt das R über 1. Ist die Anzahl der Neuerkran- kungen in beiden Zeitabschnitten gleich groß, so liegt die Reproduktionszahl bei 1. Dies entspricht dann einem linearen Anstieg der Fallzahlen. Wenn dagegen nur jeder zweite Fall eine weitere Person an- steckt, also R = 0,5 ist, dann halbiert sich die Anzahl der neuen Infektionen innerhalb der Generationszeit.

Die R-Schätzung ergibt für Anfang März Werte im Bereich von R = 3, die danach absinken, und sich etwa seit dem 22. März um R = 1 stabilisieren (s. Abb. 4, S. 14). Seit etwa dem 30. März steigt R wie- der leicht an und liegt am 4. April bei 1,2 (95 %-PI: 0,9 – 1,6). Ein möglicher Grund für den leichten An- stieg ist, dass sich das Virus jetzt stärker auch unter älteren Menschen ausbreitet, da wir zunehmend auch Ausbrüche in Pflegeheimen und Krankenhäu- sern beobachten. Ein weiterer Aspekt ist aber auch, dass in Deutschland die Testkapazitäten deutlich er- höht worden sind und durch stärkeres Testen ein insgesamt größerer Teil der Infektionen sichtbar

Wenn jeder Fall im Durchschnitt 2 Folgefälle an- steckt (R = 2), dann verdoppelt sich die Anzahl der neuen Infektionen jeweils nach einer Generations- zeit. Dagegen halbiert sich die Anzahl neuer Infek- tionen bei einer Reproduktionszahl R = 0,5. Genau diese Dynamik kann man umgekehrt nun verwen- den um die effektive Reproduktionszahl aus den Da-

**Anzahl neuer Fälle**

R

ionszahl

Reprodukt

ive

ekt f f

E

Datum

älle

olgef F

nzahl A

lere t

Mit

3.5

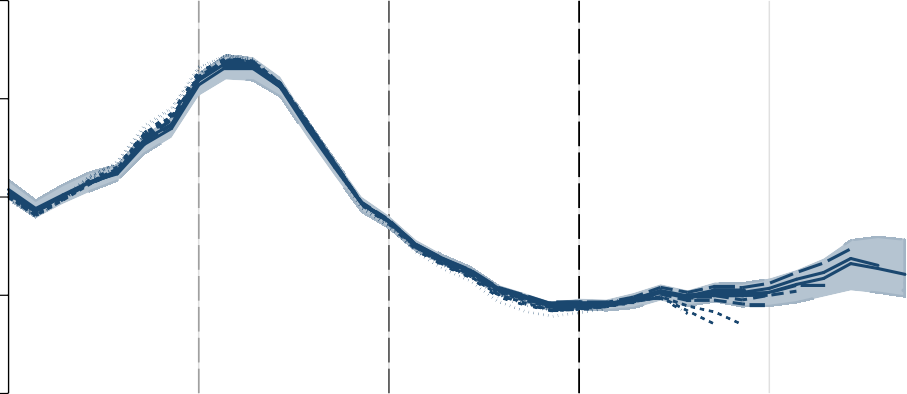
2.5

1.5

1

2

3



**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

14

Reproduktionszahl

95%-PI

3,5

3

2,5

2

1,5

1

**Datum**

**Abb. 4 |** Schätzung der effektiven Reproduktionszahl R für eine angenommene Generationszeit von 4 Tagen. Die gestrichelten vertikalen Linien kennzeichnen den Start der in Tab. 1 (S. 15) genannten Maßnahmen am 9. März, 16. März und 23. März 2020.

wird. Dieser strukturelle Effekt und der dadurch be- dingte Anstieg der Meldezahlen, kann dazu führen dass der aktuelle R-Wert das reale Geschehen etwas überschätzt. Eine Adjustierung für die höheren Testraten ist nicht ohne weiteres möglich, da keine ausreichend differenzierten Testdaten vorliegen.

auch hier einzelne kleine Ausreißer, die aber nach wenigen Tagen wieder verschwinden.

In den Abbildungen zum Nowcast und zur R-Schät- zung wird zur Orientierung das Datum des Starts wichtiger Maßnahmen zur Eindämmung der SARS- CoV-2-Epidemie in Deutschland dargestellt. In die Schätzung des Nowcasts selber gehen diese Zeit- punkte aber nicht ein. Neben dem Test von Ver- dachtsfällen, der Isolation von bestätigten Fällen

Eine Stabilitätsanalyse der R-Schätzung zeigt, dass sich der R-Wert insgesamt stabiler als das Nowcas- ting selber verhält (s. Abb. 5). Dennoch finden sich

Datenstand:

27.03.

28.03.

29.03.

30.03.

31.03.

01.04.

02.04.

03.04.

04.04.

05.04.

06.04.

07.04.

4

3

2

1

0

**Datum des Erkrankungsbeginn**

**Abb. 5 |** Vergleich der Schätzung der effektiven Reproduktionszahl R für eine angenommene Generationszeit von 4 Tagen zu unterschiedlichen Datenständen. Die gestrichelten vertikalen Linien kennzeichnen den Start der in Tab. 1 (S. 15) genannten Maßnahmen am 9. März, 16. März und 23. März 2020.

**Mittlere Anzahl Folgefälle**

**Effektive Reproduktionszahl R**



**Epidemiologisches Bulletin**

**17** | 2020

Online vorab: 9. April 2020

15

und der Quarantänisierung der engen Kontaktper- sonen von bestätigten Fällen, sind dies allgemeine kontaktreduzierende Maßnahmen zur Verringe- rung der Ausbreitung des Virus (s. Tab. 1).

Eine R-Schätzung ist auch möglich aufgrund des Verlaufs der neuen Fälle etwa nach dem Meldeda- tum, und bei internationalen Daten dürfte das auch oft die einzige Möglichkeit sein. Grundsätzlich soll- te dies zu ähnlichen Ergebnissen führen, aber noch etwas anfälliger für Meldeartefakte sein.

**Tab. 1 |** Start von Maßnahmen zur Eindämmung der SARS-CoV-2-Epidemie in Deutschland, 2020.

**Literatur**

**1** Little RJ, Rubin DB: Statistical analysis with missing data: John Wiley & Sons; 2019

**3** Lawless J: Adjustments for reporting delays and the prediction of occurred but not reported events. Cana- dian Journal of Statistics 1994;22(1):15 – 31

**2** Höhle M, an der Heiden M: Bayesian nowcasting du- ring the STEC O104: H4 outbreak in Germany, 2011. Biometrics 2014;70(4):993 – 1002

**Autor**

**a)** Dr. Matthias an der Heiden | **b)** Dr. Osamah Hamouda

**a)** Robert Koch-Institut | Abteilung 3 | FG 34 HIV/AIDS und andere sexuell oder durch Blut übertragbare Infek- tionen

**b)** Robert Koch-Institut | Abteilung 3

**Interessenkonflikt**

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

**Korrespondenz:** [a](mailto:anderHeidenM@rki.de)[nderHeidenM@rki.de](mailto:nderHeidenM@rki.de)

**Vorgeschlagene Zitierweise**

an der Heiden M, Hamouda O: Schätzung der aktuel- len Entwicklung der SARS-CoV-2-Epidemie in Deutsch- land – Nowcasting.

Epid Bull 2020;17:10 – 15 | DOI 10.25646/6692

**Start der Maßnahme**

**Maßnahme**

9. März

Absage großer Veranstaltungen in verschiedenen Bundesländern (bei über 1.000 Teilnehmer)

16. März

Bund-Länder-Vereinbarung zu Leitlinien gegen die Ausbreitung des Coronavirus

23. März

Bundesweit umfangreiches Kontaktverbot