

# Die COVID-19-Ausbreitung ist nicht grippal!

## Analyse des Infektionsgeschehens mit Methoden der Zuverlässigkeitstechnik

Seit Dezember 2019 zeigt die COVID-19-Pandemie mit ihrer enormen Ausbreitungsgeschwindigkeit die Vulnerabilität unserer globalisierten und vernetzten Welt. Eine Grundlage für die Definition von Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie ist die quantitative Datenanalyse der Infektionszahlen im Hinblick auf das Ausbreitungsverhalten der Pandemie. Eine Studie des LZR an der Bergischen Universität Wuppertal zeigt deutlich, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit von COVID-19 um ein Vielfaches schneller ist, als die bekannter Grippe-Epidemien.

Stefan Bracke und Alicia Puls

Für die Modellierung des Ausbreitungsverhaltens eignet sich aufgrund des exponentiellen Anstiegs der Fallzahlen sowie des Sättigungsverhaltens neben klassischen mathematischen Modellen zur Untersuchung von Infektionskrankheiten wie dem SIR-Modell auch das Weibullverteilungsmodell. Die Parameter dieses Weibullverteilungsmodells sind sehr gut interpretierbar und lassen Rückschlüsse auf Charakteristika des Sachverhaltes zu: Die in der Zuverlässigkeitsanalyse übliche, methodische Vorgehensweise zur Beurteilung eines technischen Schadens wird transformiert auf die Analyse von Infektionsdaten zur Bewertung der COVID-19-Pandemie. Das Ausbreitungsverhalten von COVID-19 wird abgebildet und mit der Infektionskrankheit Grippe verglichen.

In diesem Artikel werden Auszüge einer Forschungsstudie vorgestellt: Weibullver-

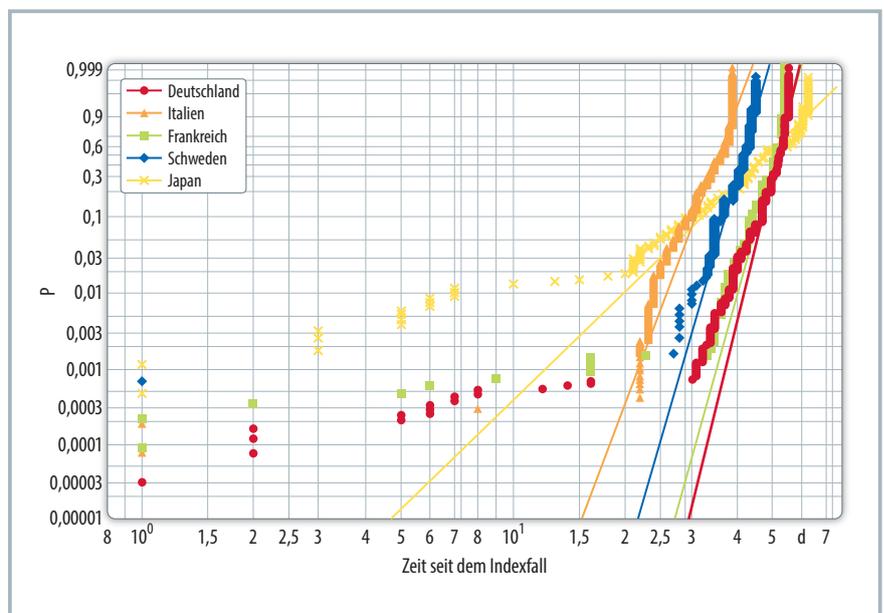


Bild 1. Weibull-Verteilungsmodelle zur Infektionsentwicklung, gemeldete Fälle, Intervall erster Infektionsfall (Indexfall) bis zum Lockdown bezogen auf die analysierten Länder.

Quelle: Bergische Universität Wuppertal ©Hanser

## Weibull-Verteilungsmodell zur Darstellung des Pandemie-Verlaufs

Das Ausbreitungsverhalten und die Auswirkungen des Lockdowns auf die verschiedenen Länder werden mit Hilfe des zweiparameterigen Weibull-Verteilungsmodells analysiert:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{T}\right)^b\right)$$

Die Parameter sind neben der Lebensdauervariable  $x$  der Lageparameter  $T$  (in der Lebensdaueranalyse: charakteristische Lebensdauer) und der Formparameter  $b$ . In der Zuverlässigkeitsanalyse technischer Schadensszenarien wird mit dem Formparameter  $b$  das Ausfallverhalten beschrieben:

- Frühausfallverhalten:  $b < 1$
- Zufallsbedingtes Ausfallverhalten:  $b = 1$
- Laufzeitabhängiges Ausfallverhalten:  $b > 1$

Die Weibull-Parameter werden mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode (MLE) geschätzt.

teilungsmodelle werden an Infektionsdaten angepasst, um den Einfluss des ersten Lockdowns im März 2020 zu bewerten. Dazu werden Daten aus den Ländern Deutschland, Italien, Frankreich, Schweden und Japan aus der frühen Pandemiephase (Januar bis Juni 2020) analysiert. Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist die Analyse der Entwicklung des Infektionsgeschehens:

- Vergleich des Ausbreitungsverhaltens COVID-19 vor und nach dem Lockdown,
- Vergleich der Ausbreitung von Grippe und COVID-19 in Deutschland.

Diese Themen werden anhand von Daten aus fünf verschiedenen Referenzländern diskutiert. Die Auswahl der Länder erfolgte aufgrund besonderer Merkmale:

- **Deutschland:** Lockdown mit Abstandsregelungen und Kontaktbeschränkungen.
- **Italien:** Erster massiver Ausbruch in Europa und harter Lockdown.
- **Frankreich:** Strikter Lockdown mit Ausgangssperren.
- **Schweden:** Leichter Lockdown basierend auf Freiwilligkeit (das einzige alternative Modell in Europa),
- **Japan:** Leichter Lockdown und gesellschaftlich-akzeptierter hoher Hygienestandard.

Die Studie basiert auf der Datenbasis der Johns-Hopkins-Universität (2020), welche die Infektionsdaten weltweit erfasst. Darüber hinaus wird die Datenbasis des Robert-Koch-Instituts verwendet. Wichtige Eckdaten der Pandemie und der Lockdowns zeigt Tabelle 1.

### COVID-19-Ausbreitung und Auswirkungen des Lockdowns

Der Vergleich der Infektionsentwicklung vor Lockdown in Deutschland, Italien, Frankreich, Schweden und Japan auf Grundlage der Weibull-Verteilungsmodelle wird in in doppeltlogarithmische Skalierung dargestellt (Bild 1, Tabelle 2). Die Weibull-Parameter werden mit Hilfe des MLE für den Datenbereich vom ersten bekannten Infektionsfall bis zum Lockdown geschätzt, der Weibull-Formparameter  $b$  inkl. Vertrauensbereich mit Konfidenzniveau ist 0,95.

Die Weibull-Modelle zeigen die unterschiedlichen Infektionsentwicklungen: Der Formparameter stellt den Gradienten dar und kann als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Infektion innerhalb der Bevölkerung interpretiert werden.

Japan zeigt den niedrigsten Formparameter (Ausbreitungsgeschwindigkeit) vor Lockdown. Der mögliche Grund für diesen Effekt kann der gesellschaftlich übliche hohe Hygienestandard (Tragen von Masken, soziale Distanz) sein, der durch die COVID-19-Pandemie zusätzlich verstärkt wurde. Die Formparameter von Deutschland, Italien, Frankreich und Schweden liegen auf einem ähnlichen Niveau, was einen deutlichen Hinweis auf die hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit (Verhalten) innerhalb eines kurzen Zeitraums (wenige Wochen) in Europa gibt.

In der technischen Zuverlässigkeitsanalyse deutet der Formparameterbereich  $1,5 \leq b \leq 3$  beispielsweise auf einen typischen, mechanisch bedingten Verschleiß hin. Bei der Analyse der COVID-19-Pandemiedaten zeigt der Formparameter  $b$  den sehr starken Gradienten – sprich: die enorme Ausbreitungsgeschwindigkeit – in Bezug auf das

Infektionsgeschehen in Europa an (z. B. in Deutschland mit  $b=19,82$ ).

Der Lockdown bewirkte eine signifikante Verringerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit in Bezug auf die analysierten Länder (Bild 2, Tabelle 3). Zunächst ist die Reduktion des Formparameters im Vergleich vor und nach dem Lockdown in allen betrachteten Ländern deutlich sichtbar. Der Formparameter (Ausbreitungsgeschwindigkeit) ist deutlich reduziert, die größte Veränderung ist in Deutschland (Formparameter  $b=1,78$ ; Faktor 11 niedriger) zu beobachten. In Schweden ist der Gradient im Vergleich zu den anderen Ländern höher: Eine Ursache für diesen Effekt kann die schwedische Anordnung eines leichten Lockdowns (beruhend auf Freiwilligkeit) sein.

### Ausbreitung der Grippe versus COVID-19 in Deutschland

Zur Beurteilung des Infektionsgeschehens wird die COVID-19-Ausbreitung mit der Grippe-Ausbreitung am Beispiel Deutschland auf Basis von Weibullverteilungsmodellen verglichen. Hier wird »»

Land	Indexfall	Erster Lockdown
Deutschland	28.01.2020	22.03.2020
Italien	28.01.2020	09.03.2020
Frankreich	24.01.2020	17.03.2020
Schweden	24.01.2020	16.03.2020
Japan	16.01.2020	28.03.2020

Tabelle 1. Datenbasis je Land: erste bestätigte Infektion (Indexfall) und erster Lockdown. (Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser)

Land	Fälle	T [d]	Formparameter b [Vertrauensbereich]
Deutschland	22.213	53	$19,61 \leq 19,82 \leq 20,03$
Italien	9.172	38	$12,91 \leq 13,12 \leq 13,34$
Frankreich	7.652	52	$17,48 \leq 17,80 \leq 18,12$
Schweden	1.022	42	$16,43 \leq 17,28 \leq 18,14$
Japan	1.466	52	$4,60 \leq 4,79 \leq 4,99$

Tabelle 2. Parameter des Weibull-Modells vor dem Lockdown beginnend mit dem ersten Infektionsfall (gemeldete Fälle bezogen auf das analysierte Land). Konfidenzniveau = 0,95 (Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser)

Land	Fälle	T [d]	Formparameter b [Vertrauensbereich]
Deutschland	122.971	15	$1,78 \leq 1,79 \leq 1,80$
Italien	126.415	18	$2,31 \leq 2,32 \leq 2,33$
Frankreich	121.605	20	$2,47 \leq 2,48 \leq 2,49$
Schweden	9.926	21	$2,86 \leq 2,91 \leq 2,95$
Japan	11.765	20	$2,56 \leq 2,60 \leq 2,64$

Tabelle 3. Die Parameter des Weibull-Modells seit dem Lockdown (gemeldete Fälle, ca. 28 Tage) bezogen auf die analysierten Länder. Konfidenzniveau = 0,95 (Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser)

	Fälle	T [d]	Formparameter b [Vertrauensbereich]
Grippe 5 Jahre Mittel	341	44	$2,56 \leq 2,80 \leq 3,04$
COVID-19 vor Lockdown	22.213	52	$19,04 \leq 19,24 \leq 19,44$

Tabelle 4. Die Parameter des Weibull-Modells seit Indexfall (ca. 50 Tage) bezogen auf die analysierten Infektionskrankheiten. Datengrundlage: Deutschland. Konfidenzniveau = 0,95 (Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser)

eine mittlere Grippezeit basierend auf den Fallzahlen der letzten fünf Saisons (2014/15 bis 2018/19) gebildet. Die Saison 2019/2020 wird bewusst nicht verwendet, um Unsicherheiten durch die zeitgleich geltenden Corona-Schutzmaßnahmen zu vermeiden. Für das Grippe-5-Jahres-Mittel wird jeweils der Beginn der Grippe-Ausbreitung mit einem vergleichbaren Zeitraum der COVID-19-Ausbreitung bis Lockdown analysiert (Bild 3, Tabelle 4).

Die Auswertung zeigt deutlich, dass sich die COVID-19-Ausbreitung von der einer typischen Grippe-Saison unterscheidet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit (Formparameter) von COVID-19 vor dem Lockdown ist signifikant höher (Faktor 7, gerundet) im Vergleich zum Grippe-5-Jahres-Mittel. Dies zeigt sich am steileren Verlauf der entsprechenden Kurve (Bild 3). Die Wei-

bull-Verteilungsmodelle zeigen, dass die Ausbreitung der COVID-19-Pandemie nicht vergleichbar mit einer normalen Grippe-Epidemie ist.

### Weibull-Verteilungsmodell: ein geeignetes Analyse-Instrument

Die Anwendung von Methoden aus der Zuverlässigkeitstechnik, konkret von Weibull-Verteilungsmodellen, ermöglicht eine detaillierte Analyse des Infektionsgeschehens der frühen COVID-19-Pandemie. Im Mittelpunkt der Datenanalyse steht die Beurteilung des Gradienten (Weibull-Formparameter  $b$ ), welcher als COVID-19-Ausbreitungsverhalten gedeutet wird – in Analogie

zur technischen Zuverlässigkeit der Gradient als Ausfallverhalten interpretiert wird. Die ermittelte Ausbreitungsgeschwindigkeit (Gradient) von COVID-19 ist enorm hoch, im Vergleich zur bekannten saisonalen Grippe um den Faktor 7 höher.

Nur im Zeitraum der konsequenten Anwendung von Maßnahmen nach dem Lockdown konnte das Ausbreitungsverhalten von COVID-19 in Deutschland um das 11-fache reduziert werden und liegt damit auf ähnlichem Niveau einer Grippe. Eine Verharmlosung der COVID-19-Ausbreitung, beispielsweise durch eine Gleichsetzung mit einer herkömmlichen Grippe-Saison, ist daher fahrlässig und falsch. ■

## INFORMATION & SERVICE

### QUELLEN

- **Bracke, S. Puls, A.; Grams, L.:** COVID-19 pandemic data analytics: Data heterogeneity, spreading behavior, and lockdown impact. Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference. Research Publishing, 2020.
- **Puls, A.; Bracke, S.:** COVID-19 pandemic risk analytics: Data mining with reliability engineering methods for analyzing spreading behavior and comparison with infectious diseases. Proceedings: The International Workshop on Reliability Engineering and Computational Intelligence (Hrsg. Zaitseva, E. et al.) Springer Verlag, 2021
- **JHU:** COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU). Johns Hopkins University, Coronavirus Resource Center, 2020
- **RKI:** SurvStat@RKI 2.0. <https://survstat.rki.de>. Robert Koch Institut, 2020

### AUTOREN

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Bracke** ist Inhaber des Lehrstuhls für Zuverlässigkeitstechnik und Risikoanalytik (LZR) der Bergischen Universität Wuppertal.

**Alicia Puls B. Sc.** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am LZR der Bergischen Universität Wuppertal.

### KONTAKT

Prof. Stefan Bracke  
bracke@uni-wuppertal.de

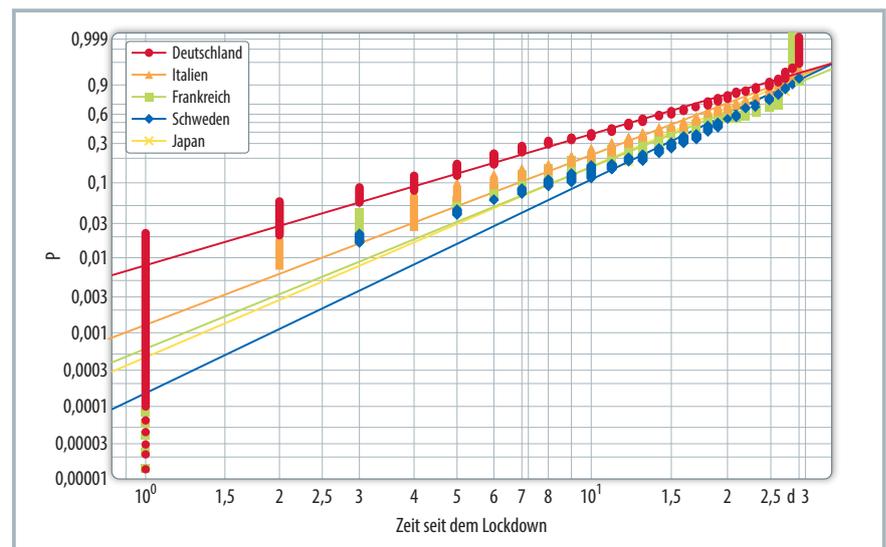


Bild 2. Die Weibull-Verteilungsmodelle auf der Grundlage der gemeldeten Falldaten nach dem Lockdown unter Berücksichtigung einer Zeitspanne von etwa 28 Tagen.

Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser

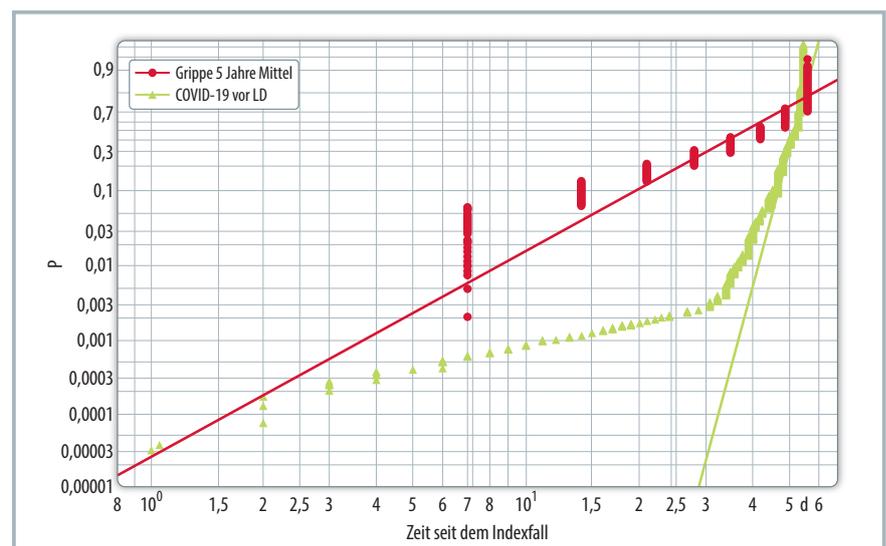


Bild 3. Weibull-Verteilungsmodelle zum Vergleich der Ausbreitung von COVID-19 in Deutschland vor Lockdown (LD) mit 5-Jahres-Durchschnitt der Grippe (2014/15–2018/19), tägliche gemeldete Fälle (ca. 50 Tage).

Quelle: Bergische Universität Wuppertal © Hanser