

# **Betriebliches SARS-CoV-2-Risikomanagement mit dreistufiger Frühintervention zur wirkungsvollen Eindämmung von Infektionsketten unter besonderer Berücksichtigung von Virusvarianten mit erhöhter Infektiosität**

Andreas Paaßen<sup>1</sup>, Laura Anderle<sup>2</sup>, Karsten John<sup>1</sup>, Sebastian Wilbrand<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gesundheitsmanagement Arbeitsmedizin Chemiepark Marl, Evonik Industries AG

<sup>2</sup> Mathematik in der Informatik, Westfälische Hochschule, Campus Gelsenkirchen

April 2021

## **Einleitung**

In den Betrieben haben während der Pandemie der Schutz der Beschäftigten und Betriebsfremden sowie die Sicherstellung der Geschäftsaktivität Priorität. Hohe Neuinfektionszahlen überfordern Strukturen und Ressourcen und bringen laufend Ansteckungsrisiken in die Betriebe ein. Dabei stellt eine innerbetriebliche Infektionskette die größte Bedrohung für die Weiterführung der Geschäftsaktivität dar, da sie in kurzer Zeit viele Beschäftigte gleichzeitig betreffen kann. Die neuen Virusvarianten erfordern mit ihrer Fähigkeit, eruptive Ausbrüche zu verursachen, eine weiterentwickelte Risikostrategie.

Die beiden wichtigen Säulen bei der Bewältigung sind die Minimierung der Übertragungsrisiken durch wirksame Schutzmaßnahmen und ein effizientes Isolations- und Quarantänemanagement mit Kontaktverfolgung. Dabei verfügen Betriebe über sehr effektive Interventionsmöglichkeiten wie die verbindliche Anordnung von Schutzmaßnahmen sowie auch den möglichen Verzicht auf die Arbeitsleistung vor Ort und damit die Herausnahme von innerbetrieblichen Risiken. Mit diesen Interventionsmöglichkeiten und einem erweiterten Risikomanagement gelingt es trotz der mit Tätigkeiten verbundenen Sozialkontakte, die Ansteckungsrisiken für Beschäftigte im Vergleich mit außerbetrieblichen Risiken sehr gering zu halten.

Das hier vorgestellte erweiterte Isolations- und Quarantänemanagement unter besonderer Berücksichtigung der neuen Virusmutationen basiert auf einer epidemiologischen Modellierung, um Risiken genau einschätzen zu können. Es wurde im praktischen Einsatz bei mehr als 200 Fällen während der zweiten Welle im Chemiepark Marl, einem großen deutschen Chemiestandort mit insgesamt ca. 10 000 Beschäftigten und bei großen Investitionsprojekten ca. 3 000 Beschäftigten von Partnerfirmen, entwickelt. Das Isolations- und Quarantänemanagement im Chemiepark Marl wird zentral vom Werksärztlichen Dienst der Evonik Industries AG für eine Vielzahl von Gesellschaften, Firmen und Subunternehmen gesteuert, überwacht und mit den zuständigen Behörden abgestimmt. Dazu wurde ein digitalisiertes Prozessmanagement als sogenanntes „Corona Control Center“ eingerichtet.

Neben der zuverlässigen Verhinderung von Infektionsketten ist die Sicherstellung einer hohen betrieblichen Personalverfügbarkeit zur Fortführung der Geschäftstätigkeit unabdingbar. Um ein Optimum bei der Erreichung beider Ziele zu erreichen, ist das Isolations- und Quarantänemanagement insbesondere bei besorgniserregenden Virusvarianten um erweiterte Maßnahmen und Alternativmaßnahmen zu ergänzen.

Als entscheidende Erfolgsfaktoren haben sich zielgenaue Maßnahmen und eine sehr kurze Reaktionszeit bis zur Einleitung der Maßnahmen herausgestellt. Deshalb wurde zum arbeitsplatznahen Einsatz ein auf einer epidemiologischen Modellierung basierendes Rechentool entwickelt.

Die Maßnahmen Isolation als Absonderung von Infektiösen und die Quarantäne als Absonderung von Kontaktpersonen werden im Weiteren nicht unter rechtlichen Aspekten betrachtet. Diese Maßnahmen können für den Betroffenen verpflichtend durch eine Allgemeinverfügung des Landes oder durch behördliche Anordnung sein. Der Arbeitgeber kann seinen Beschäftigten von der Arbeitsleistung freistellen oder mobile Arbeit zuweisen. Im häuslichen Umfeld kann freiwillig eine Selbstquarantäne eingehalten werden. Behördliche Anordnungen gelten in jedem Fall vorrangig, können und sollen aber durch freiwillige und durch arbeitgeberveranlasste Maßnahmen ergänzt werden.

## Methodik

Die mathematischen Berechnungen des Isolations- und Quarantänenagements basieren auf der Grundlagenarbeit von Lipschik et al., 2003, Department of Epidemiology, Harvard School of Public Health [1] und der epidemiologischen Modellierung von Ferretti et al., 2020, Big Data Institute, University of Oxford [2].

Der Reproduktionsfaktor  $R$  beschreibt, wie viele Menschen eine infizierte Person im Mittel ansteckt. Er berechnet sich nach Lipschik et al. 2003 [1] als:

$$(1) \quad R_0 = b \cdot D$$

aus der Anzahl von Einzelkontakten pro Tag  $k$ , der Übertragungswahrscheinlichkeit  $b$  pro Kontakt und Tag sowie der mittleren Dauer der Infektiosität  $D$ .

Der Erfolg einer Isolations- und Quarantänemaßnahme ist definiert als [1]:

$$(2) \quad R_{int} = R_0 \cdot \frac{D_{int}}{D} \cdot (1 - q)$$

Der Erfolg ( $R_{int}$ ) einer Isolations- und Quarantänemaßnahme hängt somit von der Ansteckungsfähigkeit des Virus (Basisreproduktionszahl  $R_0$ ), der durch die Intervention erfolgten Reduktion von infektiösen Tagen mit Kontakten ( $D_{int}$ : verbliebene infektiöse Tage nach Intervention) und dem prozentualen Anteil der verbleibenden Infektionswahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit an der ursprünglichen Infektionswahrscheinlichkeit ( $q$ ) ab.

Diese Formeln gelten für Erkrankungen, bei denen die Infektiosität während des Verlaufes konstant ist. Bei SARS-CoV-2 liegen jedoch im Verlauf erheblich tagesdifferente Ansteckungswahrscheinlichkeiten vor. Aus der epidemiologischen Modellierung von Ferrati et al. 2020 [2] kann die Ansteckungswahrscheinlichkeit an den einzelnen Tagen berechnet werden. Dabei kann die Generationszeit (also die Dauer von Infektion zu Folgeinfektion in Tagen) bei COVID-19 als Weibull-verteilt mit Form-Parameter  $k = 2,886$  und Skalenparameter  $\frac{1}{\lambda} = 5,665$  angenommen werden. Daraus ergibt sich für die durchschnittliche Infektiosität die folgende Dichtefunktion  $\beta(\tau)$  (mit  $\tau > 0$ , wobei  $\tau = 0$  dem Zeitpunkt der Infektion entspricht):

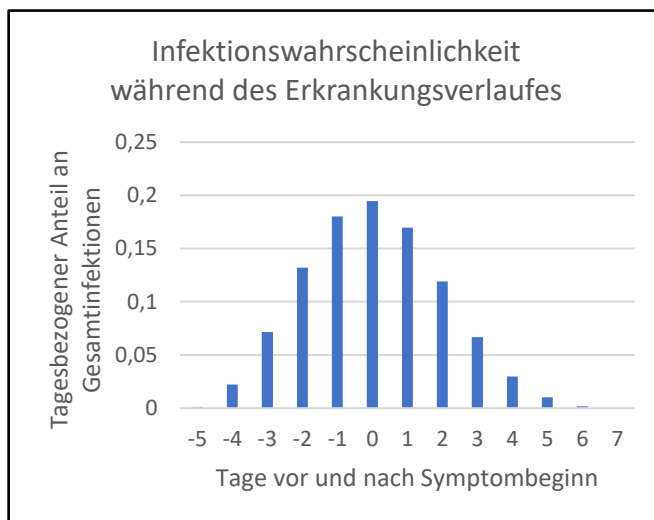
$$(3) \quad \beta(\tau) = \lambda k (\lambda \tau)^{k-1} e^{-(\lambda \tau)^k},$$

was die kumulierte Infektionswahrscheinlichkeit

$$(4) \quad B_{[t_1, t_2]} = \int_{t_1}^{t_2} \beta(\tau) d\tau$$

im Zeitintervall  $[t_1, t_2]$  (in Tagen seit dem Infektionszeitpunkt der Quelle) ergibt. Die Ansteckungswahrscheinlichkeiten werden ab Infektionszeitpunkt berechnet, der Symptombeginn wird am 5. Tag angenommen.

In der Praxis ist eine Berechnung mit Bezug auf den Infektionszeitpunkt nicht umsetzbar, da dieser im Allgemeinen nicht bekannt ist. Grundlage für die Kalkulation des Krankheitsverlaufes und der tagesdifferierten Infektionsrisiken ist daher die Bestimmung des Beginns der Symptome, der im Folgenden als Tag 0 gesetzt wird. Wenn diese Information nicht vorliegt, wird ersatzweise der Termin der Testung am Tag 0 oder die Mitteilung des positiven Testergebnisses am Tag 1 gesetzt. Dies betrifft auch Testbefunde bei prä- oder asymptomatischen Fällen. Dabei werden die Ereignisse Infektionszeitpunkt und Symptombeginn rechnerisch auf den Mittag normiert und die Infektionswahrscheinlichkeiten auf Wochen- bzw. Arbeitstage kumuliert (Abb. 1).



**Abb. 1:** Tagesbezogener Anteil an den Gesamttransmissionen an verschiedenen (Arbeits-)Tagen orientiert am Symptombeginn (Tag 0).

Da der Symptombeginn Ferrati et al. 2020 [2] am 5. Tag angenommen wird, muss Formel 4 dementsprechend angepasst werden (mittels der Variablensubstitution  $T = t - 5$  zum Zeitpunkt  $T$  ab Symptombeginn):

$$(5) \quad B_{[T_1, T_2]} = \int_{T_1+5}^{T_2+5} \beta(\tau) d\tau$$

Hierbei stellt sich die Frage, ob diese am Symptombeginn orientierte Verteilung durch die Länge der Inkubationszeit beeinflusst wird. He et al. 2020 [3] konnten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit unabhängig von der Inkubationszeit bis zum Tag -4 sehr niedrig bleibt und erst am Tag -3 einen steilen Anstieg erfährt. Somit ist die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten unabhängig von der individuellen Inkubationszeit in sehr guter Näherung gültig.

Die Effektivität  $E_{int}$  der jeweiligen Isolations- oder Quarantänemaßnahme errechnet sich aus der Anpassung der Formeln 2 und 4 an tagesdifferente Ansteckungsrisiken zu:

$$(6) \quad E_{int} = B_{[i,7]} \cdot B_{[-5,7]}^{-1}$$

i: Tag nach Durchführung der Absonderungsmaßnahme

Die Reproduktionszahl nach den jeweiligen Stufen von Isolation und Quarantäne ergibt sich aus der Anpassung der Formel 2 zu:

$$(7) \quad R_{int} = R_0 \cdot \sum_{d=i}^7 B_d \cdot (\sum_{k=1}^{K_d} P_k)$$

$R_{int}$ : Reproduktionszahl nach Intervention,  $R_0$ : Basisreproduktionszahl,  $K_d$ : Kontakte am Tag  $d$ ,  $P_k$ : Übertragungswahrscheinlichkeiten des jeweiligen Kontaktes,  $B_d = B_{[d-0,5; d+0,5]}$ : kumulierte Infektiosität am Tag  $d$ .

Formel 7 ist eine Verfeinerung von Formel 2, da die tagesspezifische Infektiosität berücksichtigt wird ( $\sum_{d=i}^7 B_d < 1$  ist daher der deutlich präzisere Ersatz für  $\frac{D_{int}}{D}$ ). Statt wie in Formel 2 die gesamte Reduktion der Ansteckungswahrscheinlichkeit ( $1 - q$ ) wird in Formel 7 mit der durch die getroffenen Maßnahmen verringerten Anzahl  $K_d$  an tagesspezifischen Kontakten sowie deren kontaktspezifischer Ansteckungswahrscheinlichkeit gerechnet.

Die Ermittlung von sozialen Kontakten wird durch Befragung der Beschäftigten, teilweise auch durch Einsicht in Kontakttagebücher durchgeführt. In Einzelfällen kommen auch digitale Medien wie Trackersysteme als ergänzende Informationsquelle in Frage. Soziale Kontakte werden als Aufenthalt innerhalb des sozialen Mindestabstandes definiert. Die Einschätzung von Übertragungsrisiken wird durch einfache Schemata nach allgemeinen Empfehlungen der Gesundheitsbehörden zur Abschätzung der Hauptfaktoren Kontaktdistanz und Kontaktzeit in drei Gefährdungsgruppen hohes, mittleres und geringes Risiko vorgenommen. Die Höhe der Risiken der einzelnen Gruppe wurde empirisch für die lokalen betriebsspezifischen Transmissionsbedingungen mit 0,2 für hohe Risiken, mit 0,1 für mittlere Risiken und mit 0,05 für geringe Risiken ermittelt. Diese Werte sind für andere Transmissionsbedingungen anzupassen.

Die Höhe der Basisreproduktionszahl  $R_0$  weist in verschiedenen Studien eine hohe Unsicherheit auf [4-7]. Für die Berechnungen wird ein  $R_0$  beim Wildtyp von 2,5 verwendet, was der bestverfügbaren Schätzung der CDC in ihren aktuellen Pandemie Planung Szenarios entspricht [8]. Bei Virusvarianten wird  $R_0$  mit der aktuell geschätzten Infektiosität multipliziert [9,10] (B 1.1.7.  $R_0 = 3,75$ ). Die zu erwartenden Rückgänge der Basisreproduktionszahl durch die zunehmende Immunisierung der Bevölkerung ist in der Zukunft durch Anpassung der  $R_0$  zu berücksichtigen.

Für Testungen wurde der SARS-CoV-2 Rapid Antigen Test von SD Biosensor, Korea vertrieben durch Roche Diagnostics GmbH mit einer Sensitivität von 96,52 % (95 % CI 91,33 – 99,04 %) und einer Spezifität von 99,68 % (95 % CI 98,22 – 99,99 %) verwendet. Die Proben wurden mit tiefen nasopharyngealen Abstrichen gewonnen.

## Ergebnisse und Ausgestaltung

Der Vergleich einzelner Strategien zur Eindämmung von Ausbrüchen wie Isolation, Kontaktverfolgung mit Quarantäne, Symptommonitoring und Teststrategien zeigt sich in der Literatur, dass Kombinationen verschiedener Maßnahmen erheblich effektiver sein können als die Einzelmaßnahmen [11, 12]. Um die erhöhte Komplexität eines solchen erfolgsoptimierten Vorgehens beherrschen zu können, wurde auf Grundlage der epidemiologischen Modellierung ein ChainCUT-Quarantänerechner auf Excel-Basis entwickelt. Nach Erfassung der ermittelten Kontakte wird die Effektivität der Interventionen berechnet und Ansteckungsrisiken für die spezifische betriebliche Situation und Virusvariante analysiert. Aus dieser Risikoanalyse abgeleitet werden kombinierte Maßnahmen zur Eindämmung

innerbetrieblicher Infektionen berechnet.

Risikobetrachtungen und erweiterte Maßnahmen werden deshalb nicht nur für den Quellfall als Virus-generation 0 und die direkten Kontaktpersonen als Generation 1, sondern auch für die indirekten Kontaktpersonen (Generation 2) durchgeführt. Das sind die Personen, die keinen Kontakt mit dem Quellfall, sondern Kontakt mit direkten Kontaktpersonen hatten. Durch die Ausweitung der Betrachtung und Interventionen kann eine weitere Ausbreitung (Generation 3) auch bei Virusvarianten mit erhöhter Infektiosität verhindert werden (Abb. 2).

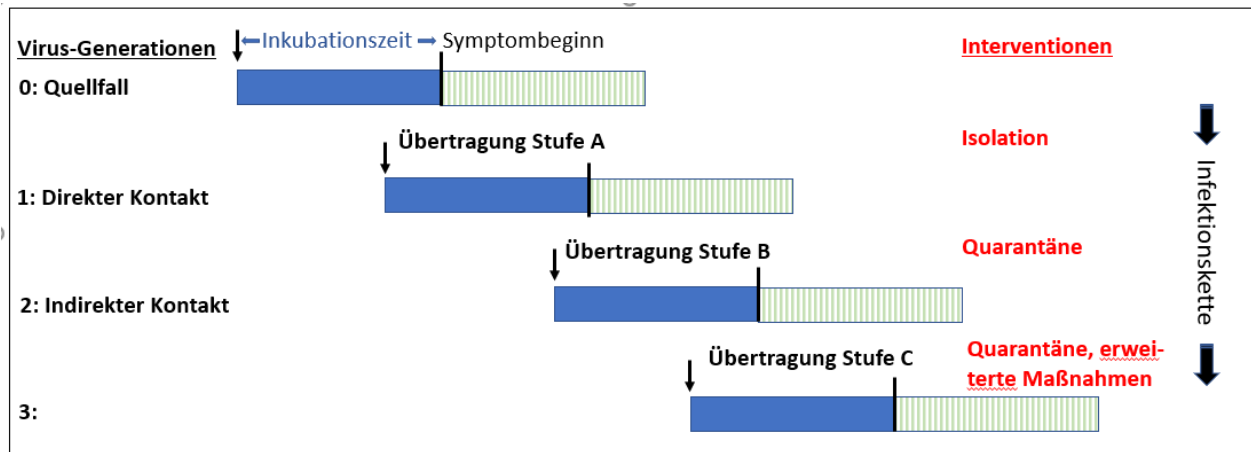


Abb. 2:

Übersicht Infektionskette mit Virusgenerationen, Übertragungen und Interventionen.

Um möglichst alle Risiken durch Kontakte zu erfassen, wird die Kontakterfassung auf den Tag -3, einem Tag mit mittelhoher Infektiosität, ausgeweitet werden (Abb. 1). Bei unbekanntem Symptombeginn ist die Bestimmung des Tag 0 unsicher. Hier kann die Einbeziehung des Tag -3 die Auswirkungen möglicher Fehleinschätzungen minimieren.

Bei gemeinsamen Aufenthalten im Arbeits- oder Sozialbereich sind Ansteckungsrisiken auch bei Einhaltung des Mindestabstandes nicht auszuschließen. Unter Sozialbereich werden gleichzeitige Aufenthalte in Gemeinschaftsräumen wie Pausen-, Raucher-, Wasch- oder Umkleieräumen verstanden. Hierbei werden geringe Risiken durch den Aufenthalt in gleichen Innenräumen, gelegentliche kurzzeitige Begegnungen, akzidentelle Expositionen durch Luftströmungen oder auch Schmierinfektionen angenommen und überschlüssig berücksichtigt.

Der ChainCUT-Quarantänerechner visualisiert im Risikoanalyse-Dashboard die Effektivität der Absonderungsmaßnahme nach Formel 6 und die Reproduktionszahlen nach Intervention nach Formel 7 (Abb. 3 und 4) getrennt nach Interventionsstufen. Damit lassen sich Maßnahmen zielgenau steuern.

Als bestimmender Erfolgsfaktor für ein Isolations- und Quarantänemanagement konnte durch Beispielrechnungen der Zeitverzug bei der Einleitung von Maßnahmen identifiziert werden. Eine Beispielrechnung geht von täglich 4 direkten Kontakten des Quellfalls mit einem Gesamtübertragungsrisiko von 0,6 (2 mit hohem, 2 mit mittlerem Übertragungsrisiko) und jeweils 2 indirekten Kontakten mit einem Übertragungsrisiko von 0,3 aus (Abb. 3 und 4). Diese Rechnung wird für die Zeitpunkte Einleitung von Interventionsmaßnahmen am Tag 0, am Tag 3 und am Tag 5 durchgeführt. Der Tag 0 ist der Tag, an dem erste Symptome auftreten. Der Zeitverzug bis Tag 3 ist der typische Fall, wenn das Ergebnis des PCR-Tests abgewartet wird und dann eine Intervention erfolgt. Wenn diese Intervention zusätzlich verzögert stattfindet, ist häufig der Tag 5 erreicht.

Die Beispielrechnung für B 1.1.7 mit einer Basisreproduktionszahl von 3,75 zeigt für die Frühintervention am Tag 0 trotz der umfangreichen Kontakte einen Reproduktionsfaktor für den Quellfall (Stufe A) nach Isolationsmaßnahme von 2,25, für den direkten Kontakt (Stufe B) nach Kontaktquarantäne von 1,30 und für den indirekten Kontakt (Stufe C) nach Kontaktquarantäne von 0,31 (App. Abb. 3 a). Damit liegt der R-Faktor in Stufe C deutlich unter 1 und das Risiko des Auftretens einer Infektionskette ist sehr gering. Schon bei einem Zeitverzug mit einem Interventionsbeginn am Tag 3 beträgt der R-Faktor bei fortgesetzten Kontakten für die Stufe C 1,78 und zeigt somit die Gefahr einer fortgesetzten Infektionskette an (App. Abb. 3 b). Am Tag 5 beträgt der R-Faktor für Stufe C schon 2,31 (App. Abb. 3 c). Damit ist eine Eingrenzung der Gefährdung auf einen kleinen Personenkreis kaum noch möglich.

Auch bei Selbstisolierung des Quellfalls am Tag 0 und ohne weitere Kontakte mit den direkten Kontaktpersonen, wirkt sich der Zeitverzug durch die fortbestehenden Kontakte der direkten mit den indirekten Personen auf den R-Wert der Stufe C am Tag 3 von 1,10 und am Tag 5 von 1,37 aus (App. Abb. 4). Dies bedeutet, dass jeder Zeitverzug bei der Einleitung von Maßnahmen die Chancen einer frühzeitigen Eindämmung eines Infektionsgeschehens deutlich verschlechtert, das gilt in besonderem Maß für Virusvarianten mit erhöhter Infektiosität.

Die Aussagefähigkeit der berechneten Reproduktionswerte lässt sich durch eine Kombination mit einer differenzierten gezielten Teststrategie als erweiterte Maßnahme erheblich verbessern (App. Abb. 3 gepunktete Linie). Dabei wird bei direkten Kontaktpersonen am Tag der Einleitung der Maßnahmen die Durchführung eines Antigen-Schnelltestes angestrebt. Damit kann mit hoher Sicherheit festgestellt werden, ob die direkten Kontaktpersonen zu Beginn ihrer Quarantäne infektiös sind. Im Fall von negativen Testergebnissen kann eine Übertragung auf die jeweiligen indirekten Kontaktpersonen ausgeschlossen werden. Sind alle Testergebnisse der direkten Kontakte negativ (R-Wert in Stufe C 0,00), kann mit hoher Sicherheit die Beendigung der Infektionskette festgestellt werden. In diesem Fall sind keine Quarantänemaßnahmen für die indirekten Kontakte einzuleiten. Das negative Testergebnis der direkten Kontaktpersonen schließt ihre Infektiosität zu diesem Zeitpunkt aus. Dabei hat die Schnelltestung ausdrücklich nicht das Ziel, eine Infektion auszuschließen und damit eine Quarantäne zu vermeiden.

Bei unsicheren Angaben bei der Kontaktbefragung oder einer hohen Anzahl von Personen ohne direkten Kontakt im gleichen Arbeits- und Sozialbereich ist ein erhöhtes Risiko einer Ansteckung insbesondere bei kritischen Virusvarianten in dieser Gruppe möglich. Deshalb kann hier eine befristete regelmäßige Antigen-Schnelltestung der gesamten Gruppe erforderlich sein.

### **Limitationen und Unsicherheiten**

Die Berechnungen der Infektionswahrscheinlichkeiten orientieren sich am Symptombeginn. In der Praxis ist allerdings der Symptombeginn nicht immer bekannt. Ursachen dafür können die fehlende Übermittlung dieser Daten durch den Betroffenen oder symptomlose Testungen aus unterschiedlichem Anlass sein. Die Bestimmung des Tag 0 ist so mit Unsicherheiten verbunden. Eine Fehlbestimmung kann dazu führen, dass die Risiken an den hochinfektiösen Tagen (Tage -2 bis +1) nicht vollständig berücksichtigt werden können und damit die Effektivität der Maßnahmen abnimmt. Die systematische Berücksichtigung des Tag -3 kann diesen Effekt verkleinern.

Bei der Ermittlung von Kontakten durch Befragung sind die Motivation und das Erinnerungsvermögen

der Beschäftigten von Bedeutung. Bei sofortiger Einleitung der Maßnahmen ist das Erinnerungsvermögen allerdings von geringer Bedeutung. Die Motivation, einen Kontakt mitzuteilen, kann jedoch eingeschränkt sein, wenn angeordnete Schutzmaßnahmen vom Beschäftigten nicht eingehalten wurden und aus Sicht des Beschäftigten keine ausreichende betriebliche Vertrauenskultur besteht.

Die Einschätzung der Virusaufnahme eines Empfängers nach den Transmissionsbedingungen und Wirkung der Schutzmaßnahmen bestimmt das Übertragungsrisiko und kann insbesondere im Arbeitsumfeld sehr komplex sein. Zur Einschätzung werden in der Regel einfache Schemata der Gesundheitsbehörden verwendet, die im Wesentlichen den Abstand und die Dauer eines Kontaktes berücksichtigen. Vielfach zu beobachten ist, dass Distanzen in der Regel überschätzt, Kontaktdauern eher unterschätzt werden. Eine besondere Herausforderung stellt die kumulative Betrachtung verschiedener Kontakte, Transmissionsbedingungen und Innenraumbelastungen für die gesamte Arbeitsdauer dar. Insgesamt ist nach praktischer Erfahrung mit einer häufigen Fehleinschätzung der Übertragungsrisiken zu rechnen. Die Entwicklung und der Einsatz praxistauglicher Transmissionssimulatoren können hier zu erheblichen Verbesserungen führen.

## **Diskussion**

Die sichere Vermeidung von betrieblichen Infektionsketten, insbesondere bei Virusvarianten mit erhöhter Infektiosität, setzt voraus, dass Risiken vollständig ermittelt und bewertet werden. Die qualifizierte Risikoanalyse identifiziert die optimalen Maßnahmen, um Ausbrüche frühzeitig zu begrenzen und den Kreis der Gefährdeten klein zu halten. Die vorgestellte epidemiologische Modellierung berechnet Ansteckungsrisiken und den voraussichtlichen Erfolg von Maßnahmen über Virusgenerationen hinweg. Die Aussagefähigkeit dieser Berechnungen lässt sich durch eine Kombination mit einer differenzierten gezielten Teststrategie deutlich steigern.

Die Erfassung von betrieblichen Kontakten mit der infektiösen Quelle ist die Grundlage zur Berechnung der kumulierten Übertragungsrisiken für jedes Quelle-Empfängerpaar. Eine klassische Kontaktverfolgung wählt die Personen für eine Quarantäne ausschließlich nach dem Ereignis eines Hochrisikokontaktes definiert durch die ungeschützte Dauer innerhalb des sozialen Mindestabstandes aus. Dabei werden Risiken durch Mehrfachkontakte an verschiedenen Tagen auch unterhalb der Definition des Hochrisikokontaktes systematisch nicht berücksichtigt. Dies führt zu Lücken in der Risikobewertung und nachfolgend in der Auswahl von Maßnahmen. Das vorgestellte Modell bewertet kumuliert alle Kontakte in Abhängigkeit von der Höhe des jeweiligen Übertragungsrisikos und der tagesabhängigen Infektiosität. Dabei werden auch Kontakte am Tag -3 mit mittelhoher Infektiosität berücksichtigt. Damit entsteht ein vollständiges Bild der Risiken für jedes Quelle-Empfängerpaar.

Bei Infektionserkrankungen mit einer hohen Infektiosität vor Symptomeintritt beschreiben epidemiologische Arbeiten [13, 14] die große Bedeutung des Zeitverzuges bis zur Einleitung der Maßnahmen für die Kontrolle von Ausbrüchen. Die Ergebnisse der Beispielrechnung nach Abb. 3 und 4 bestätigen diesen Zusammenhang. Zum Zeitpunkt des Auftretens erster Symptome bei der Quelle am Tag 0 muss abhängig von der Anzahl der Kontakte und ihrer Übertragungswahrscheinlichkeit bereits mit der Übertragung von Virusgeneration 0 (Quelle) auf die Generation 1 (direkte Kontakte) gerechnet werden (Abb. 2). Eine weitere Übertragung auf die Generation 2 (indirekte Kontakte) ist zu diesem Zeitpunkt noch unwahrscheinlich. Die Interventionen zu diesem Zeitpunkt sind deshalb sehr erfolgversprechend und weisen in der Beispielrechnung für die indirekten Kontakte für  $R > 1$  Reproduktionswerte

deutlich kleiner als 1 aus.

Jeder weitere Tag bis zur Einleitung der Interventionen erhöht die Wahrscheinlichkeit der Übertragung auf die Generation 2 (indirekte Kontakte). So zeigt die Beispielrechnung R-Werte am Tag 3 von 1,78 bei fortgesetzten Kontakten und am Tag 5 schon 2,31 für B 1.1.7 an. Damit wird der Kreis der Infektionsgefährdeten und auch der Umfang erforderlicher Maßnahmen deutlich ausgeweitet.

Gesundheitsbehörden werden in der Regel über positive PCR-Testungen informiert und werden danach aktiv. Eine Verzögerung von 3 Tagen nach Symptombeginn muss in der Praxis schon als Idealfall betrachtet werden. Die eingeleiteten Interventionen beziehen sich in der Regel auf die Quelle und die direkten Kontaktpersonen. Da zu diesem Zeitpunkt schon mit einer Übertragung auf die nächste Generation gerechnet werden muss, kann mit einer sicheren Beendigung der Infektionskette nicht gerechnet werden. Dies gilt insbesondere für die Virusvarianten mit erhöhter Infektiosität.

Deshalb ist eine möglichst frühzeitige Einleitung von Maßnahmen durch den Betrieb insbesondere bei den neuen Virusvarianten ein entscheidender Erfolgsfaktor. Die Durchführung einer sofortigen Antigen-Schnelltestung im Verdachtsfall muss dabei betrieblich veranlasst werden. Das Abwarten von Testungen und Ergebnissen durch das Gesundheitssystem führt in der Praxis häufig zu erheblichen Zeitverzögerungen.

Der Einsatz von betrieblichen Trackingsystemen oder Kontaktprotokolle können die Identifizierung der Kontakte unterstützen. Allerdings ist allein durch den Einsatz dieser Systeme noch kein effizientes Risikomanagement gegeben, da die Faktoren „Reaktionszeit bis zur Einleitung von Maßnahmen“ und „Berücksichtigung aller Risiken“ den Erfolg der Maßnahmen überwiegend bestimmen.

Erweiterte Maßnahmen als gezielte differenzierte Teststrategie der direkten Kontaktpersonen zu Beginn ihrer Quarantäne sind bei einem erhöhten Reproduktionswert der Stufe C erforderlich. Mit der Schnelltestung der direkten Kontaktpersonen kann bei negativen Ergebnissen eine Übertragung auf die jeweiligen indirekten Kontaktpersonen und eine Infektionskette mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Bei positivem Ergebnis können Quarantänemaßnahmen auf die betroffenen indirekten Kontakte eingegrenzt werden. Mit diesen erweiterten Maßnahmen lässt sich so der Kreis der gefährdeten Personen erheblich einschränken. So können Personalressourcen geschont werden und umfangreiche weitere Quarantänen oder Testungen vermieden werden.

Bei unübersichtlichen betrieblichen Kontaktverhältnissen mit vielen Personen im Arbeits- oder Sozialbereich oder unzuverlässigen Angaben kann die Identifikation von Risikopersonen nicht mit hinreichender Sicherheit erfolgen. Insbesondere bei den besorgniserregenden Virusvarianten kann neben den Quarantänemaßnahmen identifizierter Kontaktpersonen eine befristete Gruppentestung für diesen Bereich eingesetzt werden. Grundsätzlich sollen Testungen wegen der besseren Aussagefähigkeit und Vorhersagewerte gezielt für Personen und Gruppen mit erhöhter Ansteckungsgefährdung durchgeführt werden.

Wenn die betriebliche Personalverfügbarkeit durch Quarantänemaßnahmen kritisch abnimmt, können alternative Maßnahmen zur Quarantäne durchgeführt werden. Eine Alternative ist die Organisation von Einzel- oder Isolierarbeit. Dies erfordert eine räumliche und organisatorische Abgrenzung des Arbeitsplatzes ohne soziale Kontakte. Wenn dies nicht möglich ist, kann eine vorarbeitstägliche Schnelltestung als Ersatz für die Quarantäne durchgeführt werden. Dabei sind besondere Anforderungen an Qualität und Aussagefähigkeit der Schnelltestung sowie an eine fachgerecht durchgeführte



Probenahme zu stellen. Wegen der dabei bestehenden Restrisiken ist die lückenlose Einhaltung der Basisschutzmaßnahmen unabdingbar.

Der ChainCUT-Quarantänerechner führt nach Erfassung der Kontakte eine automatische Risikoanalyse durch und erstellt konkrete individuelle Maßnahmenvorschläge. Damit steht den Verantwortlichen am Arbeitsplatz ein leicht zu bedienendes Tool zur Verfügung, das für die Entscheidung und Einleitung optimaler Maßnahmen erforderliche medizinische und epidemiologische Fachwissen bereitstellt. In Kombination mit der Organisation einer betrieblich veranlassten Schnelltestung können alle zeitkritischen Maßnahmen zum frühestmöglichen Zeitpunkt eingeleitet werden. Damit ist dieses Tool expertengestützten zeitverzögerten Vorgehensweisen systematisch bei der schnellen Eingrenzung von Ausbrüchen überlegen.

## **Zusammenfassung**

Die neuen SARS-CoV-2-Virusvarianten können mit ihrer erhöhten Infektiosität auch am Arbeitsplatz große Ausbrüche verursachen, die die Beschäftigten und auch die Fortführung der Geschäftstätigkeit gefährden. Dabei verfügen Betriebe und Arbeitgeber über sehr effektive Interventionsmöglichkeiten wie die Organisation und verbindliche Anordnung von Schutzmaßnahmen sowie auch die Absonderung von Beschäftigten durch Verzicht auf die Arbeitsleistung vor Ort. Mit diesen Interventionsmöglichkeiten und dem vorgestellten erweiterten Risikomanagement ist es trotz der mit Tätigkeiten verbundenen Sozialkontakte möglich, die innerbetrieblichen Ansteckungsrisiken für Beschäftigte sehr gering zu halten.

Die gezielte risikobasierte Kombination von Basisschutz, betrieblichem Isolations- und Quarantänemanagement, Symptommonitoring und Teststrategie zeigt eine deutlich höhere Wirksamkeit als Einzelmaßnahmen. Diese Effizienz ist insbesondere bei kritischen Virusmutationen durch eine vorwärts gerichtete Absonderungsstrategie über mehrere Virusgenerationen und Frühinterventionen zu optimieren. Grundlage ist eine epidemiologische Modellierung mit differenzierter Risikoanalyse der Kontakte in Abhängigkeit von der tagesabhängigen Infektiosität. Damit können Risiken sehr viel besser eingeschätzt und daraus zielgenaue Maßnahmen abgeleitet werden.

Beispielrechnungen zeigen, dass der Zeitpunkt der Einleitung von Interventionen ein entscheidender Erfolgsfaktor ist. Da behördliche Kontaktverfolgungen in der Praxis häufig erst mit einem kritischen Zeitverzug beginnen können, stellt die sofortige arbeitsplatznahe Frühintervention eine entscheidende Verbesserung bei der schnellen Eingrenzung von Ausbrüchen dar. Der auf diesen Grundlagen entwickelte Quarantänerechner ermöglicht auch Laien eine differenzierte Risikoanalyse mit Einleitung optimierter Maßnahmen. Gezielte Teststrategien und Alternativmaßnahmen stellen die Personalverfügbarkeit sicher.

## **Literatur**

1. Lipsitch, M., Cohen, T., Cooper, B., Robins, J.M., Ma, S., James, L., Gopalakrishna, G., Chew, S. K., Tan, C.C., Samore, M.H., Fisman, D. Murray, M. (2003). Transmission Dynamics and Control of Severe Acute Respiratory Syndrome. *Science*. 2003 June 20; 300(5627): 1966–1970. DOI:10.1126/science.1086616.

2. Ferretti, L., Wymant, C., Kendall, M., Zhao, L., Nurtay, A., Abeler-Dörner, L., Parker, M., Bonsall, D., Fraser, C. (2020). Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science* 10.1126/science.abb6936. DOI: 10.1126/science.abb6936.
3. He, X., Lau, E.H.Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y.C., Wong, J.Y., Guan, Y., Tan, X., Mo, X., Chen, X., Liao, B., Chen, W., Hu, F., Zhang, Q., Zhong, M., Wu, Y., Zhao, L., Zhang, F., Cowling, B.J., Li, F., Leung, G.M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Medicine*, VOL 26, 672 MAY 2020, 672–675. DOI: 10.1038/s41591-020-0869-5.
4. Sanche, S., Lin, Y.T., Xu, C., Romero-Severson, E., Hengartner, N., Ke, R. (2020). Contagiousness and Rapid Spread of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2. *Emerging Infectious Diseases*, [www.cdc.gov/eid](http://www.cdc.gov/eid), Vol. 26, No. 7, July 2020. DOI: 10.3201/eid2607.200282.
5. Imai, N. Cori, A., Dorigatti, I., Baguelin, M., Donnelly, C.A., Riley, S., Ferguso, N.M. (2020). Report 3: transmissibility of 2019-nCov. Imperial College London (25-01-2020), DOI: 10.25561/77148.
6. Li, Q., Guan, X., Wu, P., et al. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med*. 2020;382(13):1199–1207.
7. Kucharski, A.J., Russell, T.W., Diamond, C., et al.: Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. medRxiv 2020
8. CDC, Pandemic Planning Scenarios 10.03.2021, [www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html](http://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html)
9. Vöhringer, H., Sinnott, M., Amato, R., Martincorena, I., Kwiatkowski, D., Barrett, J.C., and Gerstung, M. (2020). Lineage-specific growth of SARS-CoV-2 B.1.1.7 during the English national lockdown.
10. Volz, E., Mishra, S., Chand, M., Barrett, J.C., Johnson, R., Geidelberg, L., Hinsley, W.R., Laydon, D.J., Dabrera, G., O’Toole, Á., et al. (2021). Transmission of SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 in England: Insights from linking epidemiological and genetic data. medRxiv, 2020.2012.2030.20249034.
11. Kucharski, A.J., Klepac, P., Conlan, A.J.K., Kissler, S.M., Tang, M.L., Fry, H., Gog, J.R., Edmunds, W.J. (2020). Effectiveness of isolation, testing, contact tracing, and physical distancing on reducing transmission of SARS-CoV-2 in different settings: a mathematical modelling study. *Lancet Infect Dis*. 2020 Oct;20(10):1151-1160. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30457-6. Epub 2020 Jun 16.
12. Peak, C.M. Kahn, R., Grad, Y.H., Childs, L.M., Li, R., Lipsitch, M. Buckee, C.O. (2020). Comparative Impact of Individual Quarantine vs. Active Monitoring of Contacts for the Mitigation of COVID-19: a modelling study. DOI: 10.1101/2020.03.05.20031088.
13. Fraser, C., Riley, S., Anderson, R.M., Ferguson, M. (2004). Factors that make an infectious disease outbreak controllable. *PNAS*, April 20, 2004, vol. 101, no. 16, 6147. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0307506101](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0307506101)
14. Hellewell, J., Abbott, S., Gimma, A., Bosse, N.I., Jarvis, C.I., Russell, T.W., Munday, J.D., Kucharski, A.J., Edmunds, W.J., Funk, S., Eggo, R.M. (2020). Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of cases and contacts. [www.thelancet.com/lancetgh](http://www.thelancet.com/lancetgh) Vol 8 April 2020.

# Appendix



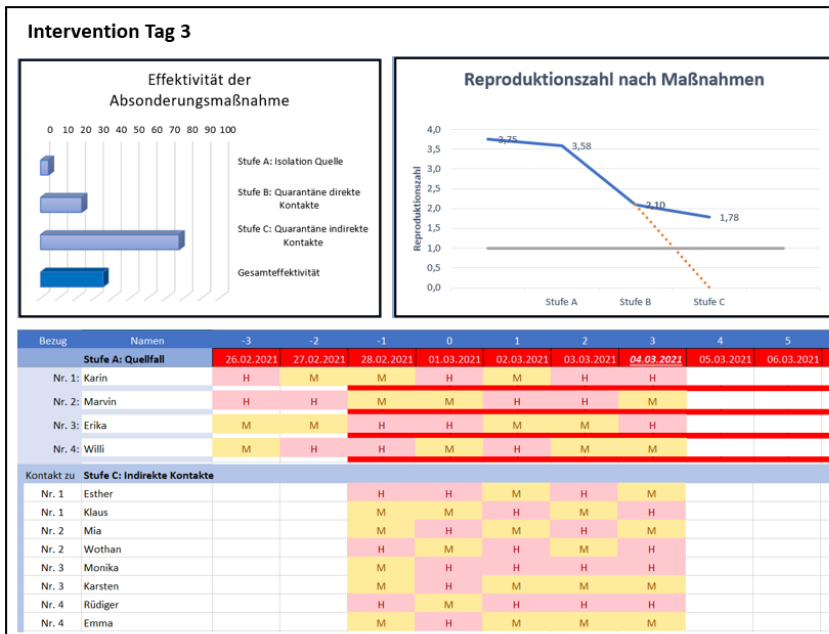
**Abb. 3 a:**

Einleitung von Isolation des Quellfalls und Quarantäne der Kontaktpersonen sofort nach Auftreten von Symptomen.

$E_{int}$  (links oben) nach Formel 6.

$R_{int}$  (rechts oben) nach Formel 7. Gepunktete Linie R-Wert nach negativem Test der direkten Kontaktperson.

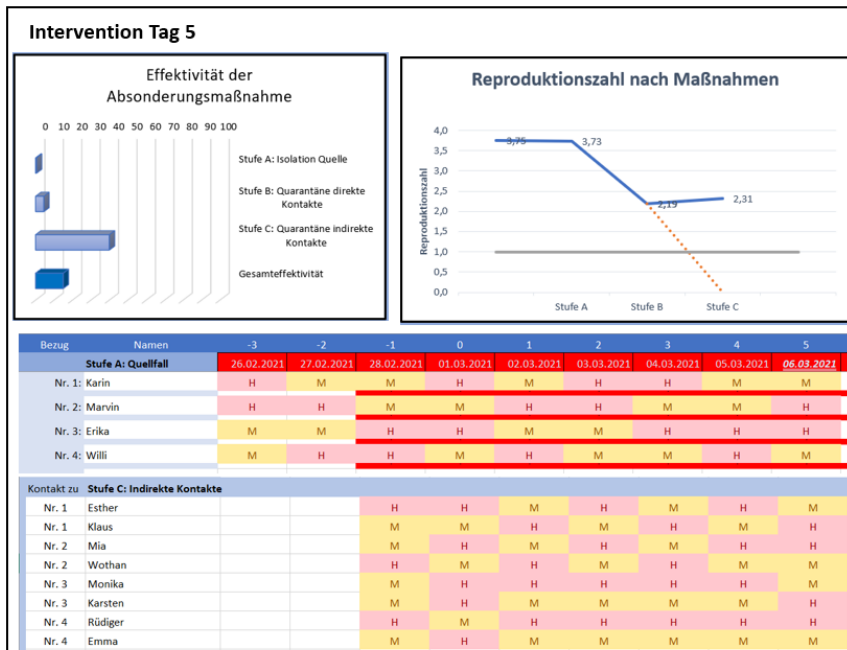
Kontakttable mit wechselnd hohem "H" oder mittleren "M" Risiko. Oberer Teil Kontakte Quellfall und direkte Kontaktpersonen. Unterer Teil Kontakte direkte und indirekte Kontaktpersonen.



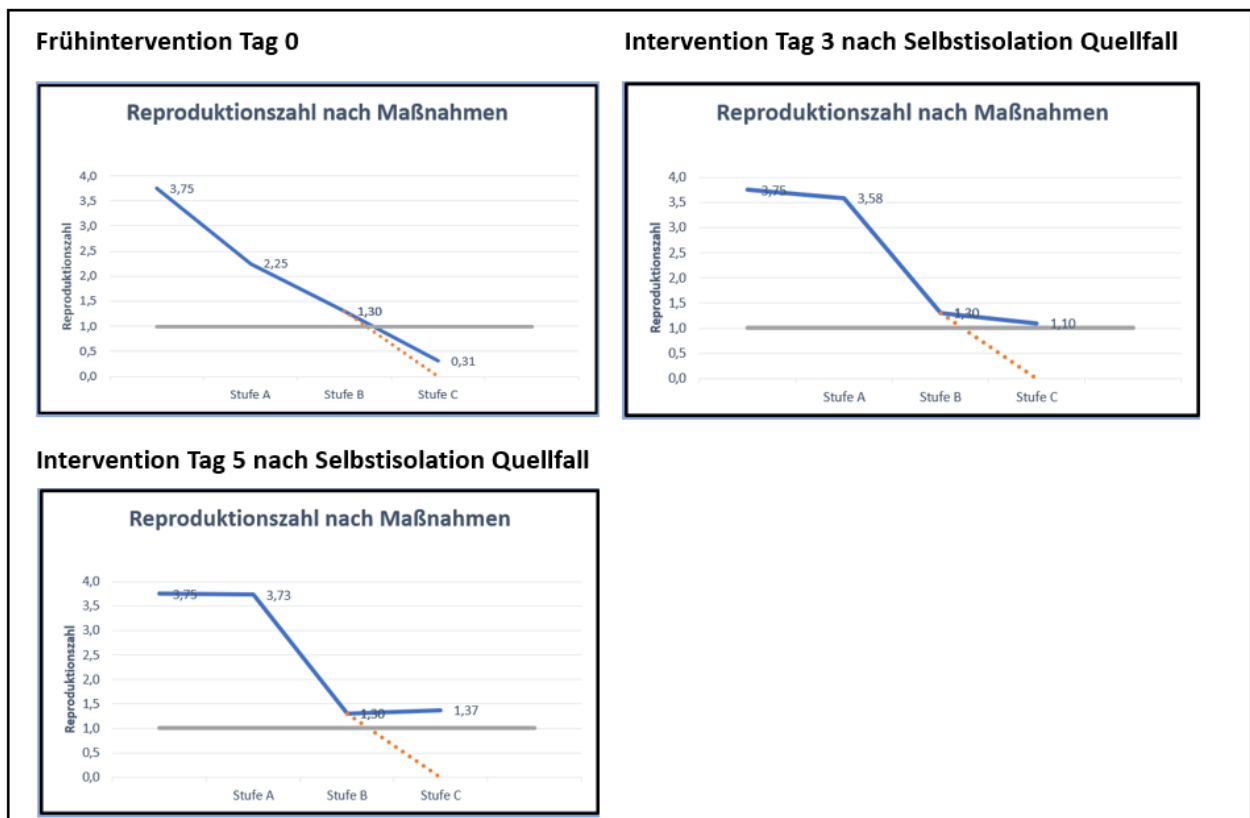
**Abb. 3 b:**

Einleitung von Isolation des Quellfalls und Quarantäne der Kontaktpersonen am Tag 3 nach Auftreten von Symptomen.

Bis Tag 3 fortgesetzte Kontakte.



**Abb. 3 c:**  
 Einleitung von Isolation des Quellfalls und Quarantäne der Kontaktpersonen am Tag 5 nach Auftreten von Symptomen.  
 Bis Tag 5 fortgesetzte Kontakte.



**Abb. 4:**  
 Vergleich Reproduktionswerte bei Frühintervention am Tag 0 und bei Interventionen am Tag 3 und 5, wenn eine Selbstisolation des Quellfalls am Tag 0 ohne folgende Kontakte des Quellfalls zu den direkten Kontaktpersonen und mit fortgesetzten Kontakten der direkten zu den indirekten Kontaktpersonen vorliegt.