

Eine risikoorientierte Untersuchung der Durchführbarkeit von Messeveranstaltungen während der SARS-CoV-2 Pandemie

Ein Ansatz zur mathematisch-statistischen Simulation des realen Infektionsgeschehens

Vorgelegt von:

IG Messewesen e.V.

Autoren:

Dr. Stefan Terkatz, Paul Terkatz
Januar 2022

**IG
MESSEWESEN**

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	1
3	Untersuchungsgegenstand	2
4	Methodik	2
5	Das Infektionsmodell	3
5.1	Grundlegende Annahmen	3
5.1.1	Räumliche Annahmen	3
5.1.2	Annahmen zum individuellen Infektionsschutz	3
5.1.3	Annahmen zum Ablauf einer Messeveranstaltung	3
5.2	Schätzung des Infektionsrisikos	3
5.2.1	Quanta-Emissionsrate	3
5.2.2	Bestimmung der Viruslast, der ein Individuum ausgesetzt ist	4
5.2.3	Bestimmung der Viruslast, die ein Individuum aufnimmt	4
5.2.4	Bestimmung der Infektionswahrscheinlichkeit	5
6	Das Simulationsmodell	5
6.1	Annahmen an den Ablauf	5
6.2	Beschreibung des Ablaufs	5
6.3	Eine grafische Darstellung des Ablaufs	5
7	Weitere Daten für die Simulation	7
7.1	Bestimmung der erwarteten Anzahl von Infizierten auf einer Messe	7
7.2	Messestände	7
8	Auswertung	9
8.1	Beschreibung	9
8.2	Ein Auszug aus den Ergebnissen	9
8.3	Häufigkeitsverteilungen der Neuinfektionen	11
8.4	Regressionsanalysen der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen	12
8.5	Regressionsanalysen der Anzahl der Besucher und der R-Werte	13
8.6	Akkumulation der Szenarien	14
9	Fazit	14
10	Referenzen	15

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche realen Infektionsrisiken bei der Durchführung von Messeveranstaltungen während der SARS-CoV-19 Pandemie bestehen. Hierzu wurden vier verschiedene Szenarien erzeugt. Eine Zugrundelegung der bekannten Infektionsparameter sowie einer Monte-Carlo-simulationsbasierten Modellierung einer Messeveranstaltung haben das Abschätzen der Gefahrenlage während der Sars-Cov-19 Pandemie ermöglicht. Abhängig von der Anzahl der Besucher je Messeveranstaltung wurden in der Simulation zwischen null und 3.383 Neuinfektionen pro Messetag erreicht. Hierbei deuten die Ergebnisse der Studie auf ein exponentielles Wachstum bei einer steigenden Besucherzahl hin, die Risiken wachsen überproportional. Es ist anzumerken, dass hierbei bereits Schutzmaßnahmen wie das Tragen einer FFP2-/ OP-Maske und eine effektive Luftaustauschrate berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse der Simulation implizieren, dass größere als auch kleinere Messeveranstaltungen das Potenzial eines Superspreading Events aufweisen können. Ebenfalls ermöglichen die Simulationsergebnisse eine Abschätzung der Belastung des Gesundheitssystems, sollte eine Messeveranstaltung durchgeführt werden. Die vorliegende Arbeit bildet somit einen Ansatz zur Risikobeurteilung und kann Hinweise zur jeweiligen Lagebeurteilung bezüglich der Machbarkeit der betreffenden Messeveranstaltung geben.

2 Einleitung

Seit annähernd zwei Jahren werden weite Teile des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Geschehens durch die vorherrschende Sars-COV-19 Pandemie bestimmt. Bis zum heutigen Tage wird der Schutz des Individuums über alle anderen (wirtschaftlichen) Interessen gestellt. Diese Vorgehensweise ist annähernd weltweit zu beobachten und verlangt der Politik höchsten Respekt ab und erscheint vor dem Hintergrund von mehr als 328 Millionen infizierter Menschen [1] und annähernd 5,5 Millionen gemeldeten an den Folgen der Erkrankung verstorbenen Menschen [2] sowohl richtig als auch notwendig. Viele Länder haben durch unterschiedliche Förderprogramme versucht, die wirtschaftlichen Folgen ihrer Unternehmen zu mildern. Hier nimmt Deutschland eine Spitzenstellung ein. Mit Milliardenhilfen wie zinsgünstige KfW- Kredite, Überbrückungshilfen, Neustarthilfen usw. wurde bisher eine Insolvenzwellen vermieden. Einigen Branchen wurde zeitweise ein faktisches „Berufsverbot“ (Tourismus, Gastronomie, Hotelgewerbe, Messewirtschaft u.a.) auferlegt. Zwischenzeitliche Lockerungen der Pandemiemaßnahmen haben hier nur bedingt helfen können. Diese Branchen sind noch heute in besonderem Maße von den bisher notwendig erscheinenden Maßnahmen betroffen und in ihrer Existenz gefährdet. Gleichzeitig schwindet das nationale und vorrangig auch das internationale Vertrauen der Wirtschaftsteilnehmer in diese Branchen. Besonders betroffen ist die Messewirtschaft, die mit einem Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt in Höhe von ca. 28 Mrd. einen erheblichen Beitrag zum Wirtschaftswachstum leistet. In diesem Beitrag sind die sich aus den Messeveranstaltungen ergebenden nachfolgenden wirtschaftlichen Folgewirkungen noch unberücksichtigt. Betroffen sind mehr als 230.000 Arbeitsplätze [3]. Den Akteuren der Branche ist bewusst, dass eine staatliche Förderung nicht auf Dauer aufrechterhalten werden kann. Somit benötigt diese Branche Planungssicherheit und eine verlässliche Aussage darüber, ob und unter welchen Voraussetzungen überhaupt wieder Messeveranstaltungen durchgeführt werden können. Ständige Verschiebungen, Absagen, Kapazitätsbeschränkungen, die sich permanent ändern und im Föderalismus in Deutschland auch noch unterschiedlich ausfallen, lassen die Branche ans Limit ihrer Belastbarkeit treten und werden viele Marktteilnehmer zum Austritt aus der Branche zwingen. Die Abwägung, ob nun Messen veranstaltet werden können oder eben nicht, sollte sich nach klaren Risikomodellen richten und nicht nach pauschalen Vorgaben wie „eine zufällige Kapazitätsbeschränkung“. Die vorliegende Arbeit zeigt auf, wie hoch das Risiko von Infektionen auf einer Messeveranstaltung, differenziert nach einzelnen Messen ist und welche schwerwiegenden Folgen (Todesfälle) hiermit verbunden sein könnten. Die Risikoabschätzung muss auch berücksichtigen, dass wir das Ziel der Ausrottung des Virus in einer absehbaren Zeit nicht erreichen werden und dass es ein „Nullrisiko“ nicht geben wird. Den Autoren der Studie ist bewusst, dass die Politik hier vor schwerwiegende Entscheidungen gestellt wird, sie können hierzu keine Empfehlungen aussprechen, sondern lediglich einen Beitrag zur Transparenz der realen Risikolage liefern.

3 Untersuchungsgegenstand

Die Zielsetzung der Arbeit besteht darin, das Infektionsrisiko auf Messeveranstaltungen abschätzen zu können. Aus den Ergebnissen lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf die Belastung des Gesundheitssystems sowie potenzieller weiterer Folgen schließen. Hierzu werden alle heute bekannten relevanten Faktoren, die das Infektionsgeschehen beeinflussen, berücksichtigt:

- Quanta- Emissionsrate (ausgestoßene Viruslast pro Stunde eines Individuums)
- Viruslast des Sputums (RNA- Kopien je ml)
- Verhältnis zwischen einem infektiösen Quantum und der infektiösen Dosis unter unterschiedlichen Belastungen bei Zugrundelegung eines geschlechtsberücksichtigenden Mittelwertes
- Inhalationsrate
- Ausgesonderte Tröpfchenvolumenkonzentration einer infizierten Person
- Gewichtete Schutzmaskeneffizienz
- Zerfallsrate des Virus
- Initiale Quanta- Konzentration
- Anzahl der Infizierten
- Raumvolumen
- Air Exchange Rate (Luftaustauschrate)

Die Untersuchung wird getrennt nach den relevanten Größen Messeveranstaltungen in Deutschland (einige Messen oder Events werden mangels Kenntnis vermutlich unberücksichtigt bleiben) durchgeführt. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, wie an den diversen Veranstaltungsorten agiert werden kann. Es wird sich zeigen, ob pauschale Vorgaben (Einschränkungen) zielführend sind.

4 Methodik

Das Virus SARS-CoV-2 wird nach heutiger Erkenntnis vorrangig durch sogenannte Tröpfcheninfektionen übertragen. Hierbei handelt es sich um orale sowie nasale Ausscheidungen einer Person, die z.B. durch Sprechen, Singen, Husten oder Niesen entstehen. Eine Infektion durch die Berührung kontaminierter Oberflächen erscheint möglich, allerdings sehr selten. Somit beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf den oralen sowie den nasalen Übertragungsweg. Für den Übertragungsweg wurde ein Infektionsmodell zugrunde gelegt, welches anhand der sog. 'Quanta-Emissionsrate' und einigen weiteren Parametern, wie zum Beispiel die Maskeneffizienz, eine Berechnung der Infektionswahrscheinlichkeit ermöglicht. Verschiedene Parameter wurden unter Zugrundelegung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen modelliert, welche als Grundlage für eine Monte-Carlo-Simulation gelten. Diese berechnet unter Berücksichtigung des Infektionsmodells sowie den räumlichen Begebenheiten auf Messeveranstaltungen die erwartete Anzahl der Infizierten aus. Dabei wurden die Messen anhand von empirischen Daten in vier verschiedene Szenarien eingeteilt, welche in jeweils 10.000 Durchläufen simuliert wurden. Lediglich das letzte Szenario musste aufgrund von massiver Rechenzeit auf 1.000 Simulationsdurchläufe begrenzt werden. So hat die gesamte Simulation in ihrer Rechenzeit ca. 5 volle Tage in Anspruch genommen, eine Ausweitung würde der sich rasant verändernden Lage nicht gerecht werden. Die Ergebnisse der Simulation sind Gegenstand dieser Untersuchung und sollen einen Eindruck des Infektionspotentials der Messenveranstaltungen vermitteln, und eine Abschätzung der möglichen Konsequenzen ermöglichen.

5 Das Infektionsmodell

5.1 Grundlegende Annahmen

5.1.1 Räumliche Annahmen

- Die Messehalle ist in ihrer Gesamtheit nicht als einzelner Raum zu betrachten. Dies würde den wahren Gegebenheiten eines typischen Messestandes nicht gerecht werden. Vielmehr werden die Stände durch Wände, Zeltdächer oder andere Vorrichtungen räumlich begrenzt, sodass die einzelnen Messestände jeweils einen eigenen Raum darstellen. Es wird daher im weiteren Aufbau der Simulation davon ausgegangen, dass die Messestände einzelne Räume darstellen. Auch wenn dies eine recht restriktive Annahme ist, so trifft sie doch besser die tatsächlichen Begebenheiten

5.1.2 Annahmen zum individuellen Infektionsschutz

- In dem Modell wird nur die Wirksamkeit von Schutzmasken berücksichtigt

5.1.3 Annahmen zum Ablauf einer Messeveranstaltung

- Die Besucher kommen jeweils gleichzeitig am Messestand an, und verlassen diesen dann nach ihrer individuellen Besuchszeit. Eine weitere Erläuterung lässt sich im weiteren Verlauf der Studie finden

5.2 Schätzung des Infektionsrisikos

5.2.1 Quanta-Emissionsrate

Unter der Annahme, dass die ausgeschiedenen Tröpfchen der infizierten Person die gleiche Viruslast wie das entsprechende Sputum haben, gibt die Quanta-Emissionsrate die ausgestoßene Viruslast pro Stunde wieder (quanta h^{-1}) [4]. Ein Quantum stellt dabei die benötigte Dosis der infektiösen Tröpfchen dar, welche benötigt werden, um $1 - e^{-1} \hat{=} 63\%$ der Personen in unmittelbarer Nähe zu infizieren [5]. Die Quanta-Emissionsrate approximiert sich wie folgt:

$$ER_q = (c_v * c_i * IR * V_d) * (1 - \eta) = (c_v * \frac{1}{c_{RNA} * c_{PFU}} * IR * V_d) * (1 - \eta) \quad (1)$$

wobei

c_v die Viruslast des Sputums (RNA-Kopien mL^{-1}),

c_i das Verhältnis zwischen einem infektiösen Quantum und der infektiösen Dosis (quanta RNA-Kopien $^{-1}$),

IR die Inhalationsrate ($m^{-3}h^{-1}$),

V_d die ausgesonderte Tröpfchenvolumen-Konzentration der infizierten Person ($mL m^{-3}$),

η die Maskeneffizienz im gewichteten Durchschnitt [6]

angeben. Das Definieren von genauen Werten für V_d stellt die Wissenschaft vor Herausforderungen, da selbst die unterschiedlichen Messmethoden zu differierenden Ergebnissen kommen. Ein Mittelwert lässt sich mit $6 \times 10^{-2} mL m^{-3}$ beziffern, wobei $T_x = \{2 \times 10^{-2}, 9 \times 10^{-2}\}$ [5]. Für den weiteren Verlauf wird für V_d eine Gleichverteilung mit

$$V_d \sim R(2 \times 10^{-2}, 9 \times 10^{-2})$$

unterstellt. c_v liegt für die Simulation ebenfalls die Annahme einer Gleichverteilung mit $T_x = \{10^2, 10^{11}\}$ zugrunde:

$$c_v \sim R(10^2, 10^7)$$

[5]. Eine Verteilungsannahme für c_i kann aufgrund mangelnder Werte nicht getroffen werden. Der Parameter kann jedoch durch $\frac{1}{c_{RNA} * c_{PFU}}$ approximiert werden, wobei c_{RNA} die Menge der infektiösen Viruspartikel, welche für eine Infektion benötigt werden angibt und c_{PFU} einen Umwandlungsparameter der Quanta-zu-Plaque-Einheit darstellt. c_{RNA} wurde dabei auf 1.3×10^2 RNA-Kopien PFU^{-1} und c_{PFU} auf 2.1×10^2 PFU quanta $^{-1}$ determiniert [5]. Für IR werden die Mittelwerte zwischen männlichen und weiblichen Personen bei verschiedenen Aktivitäten genutzt, welche sich wie folgt in $m^{-3}h^{-1}$ determinieren:

Ruhen	Stehen	Leichte Anstrengung	Mittlere Anstrengung	Starke Anstrengung
$0,49 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$	$0,54 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$	$1,38 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$	$2,35 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$	$3,30 \text{ m}^{-3}\text{h}^{-1}$

Der Approximation der Maskeneffektivität η liegt die Annahme zugrunde, dass rund 80% der Besucher eine FFP2-Maske und 20% eine handelsübliche OP-Maske tragen. Etwaige Ineffizienzen durch eine falsche Anwendung werden nicht berücksichtigt. Die Effizienz der verschiedenen Masken stellt sich wie folgt dar [11, 12, 13]:

FFP2-Maske	OP-Maske
$\geq 94\%$	$\geq 90\%$

Demzufolge bestimmt sich die Maskeneffizienz im gewichteten Durchschnitt mit 93.2 %. Die Effizienz wird im weiteren Verlauf sowohl für die Quanta-Emissionsrate, als auch für die Bestimmung der Viruslast, die ein Individuum aufnimmt, vorausgesetzt. Den Autoren ist hierbei bewusst, dass sich dies als optimistische Annahme darstellt. Etwaige Fehlanwendungen sowie verschiedene Wirkungsgerade des Schutzes können zu hohen Abweichungen der Effektivität führen, es zeigt sich jedoch eine schwierige Studienlage sowie mangelnde Empirie.

5.2.2 Bestimmung der Viruslast, der ein Individuum ausgesetzt ist

Folgende Annahmen werden für die Evaluierung getroffen:

- Eine konstante Zerfallsrate des Virus
- Die Zeit zwischen einer Infektion bis zu dem Zeitpunkt, wo das Individuum selbst ansteckend wird ist länger als die Zeitskala in dem gegebenen Modell
- Die Tröpfchen sind im gesamten Raum gleichmäßig verteilt

Die Quanta-Konzentration zum Zeitpunkt t , $n(t)$ in (Quanta m^{-3}) bestimmt sich wie folgt:

$$n(t, ER_q) = n_0 * e^{-IVRR*t} + \frac{ER_q * I}{IVRR * V} * (1 - e^{-IVRR*t}) \quad (2)$$

wobei

IVRR (h^{-1}) die Zerfallsrate des Virus,

n_0 die initiale Quanta-Konzentration,

I die Zahl der Infizierten,

V das Volumen des entsprechenden Raumes,

t den Zeitpunkt

angeben [5]. IVRR definiert sich des Weiteren aus der Summe der 'Air Exchange Rate' (AER) via Ventilation, die Partikel-Zerfallsrate auf Oberflächen (k) und der viralen Inaktivierung (λ). k wird mit $0,24 \text{ h}^{-1}$, λ mit $0,63 \text{ h}^{-1}$ determiniert [5]. Die AER in medizinischen Einrichtungen liegt zwischen 3 h^{-1} und 10 h^{-1} [5, 14], wobei verallgemeinernd davon ausgegangen werden muss, dass sich die Begebenheiten in Messehallen schwierigeren Bedingungen gegenüber sehen. Für den weiteren Verlauf der Simulation wird die AER daher mit dem Mittelwert von $6,5 \text{ h}^{-1}$ determiniert. Die Annahme, die jeweiligen Besucher würden gleichzeitig am Messestand eintreffen, impliziert eine initiale Quanta-Konzentration von jeweils null. Diese Abstraktion führt jedoch zu einer maßgeblichen Beeinträchtigung der Infektionswahrscheinlichkeit. Ausgleichend wird daher die initiale Quanta-Konzentration zufällig anhand der Quanta-Emissionsrate berechnet.

5.2.3 Bestimmung der Viruslast, die ein Individuum aufnimmt

Die aufgenommene Viruslast in Interval T kann in Abhängigkeit von $n(t, ER_q)$ in (Quanta) wie folgt bestimmt werden:

$$D_q(ER_q) = (IR * \int_0^T n(t)dt) * (1 - \eta) \quad (3).$$

T stellt dabei das zeitliche Intervall, in dem ein Individuum der Viren ausgesetzt ist, dar. Der durchschnittliche Verbleib an einem Messestand kann aus empirischen Beobachtungen abgeleitet werden, welcher sich auf ein Intervall zwischen 10 und 25 Minuten beläuft [8, 9]. Ein Mittelwert bildet sich daher

bei 17,5 Minuten (0,2917 Stunden). Im Operations Management wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass Abfertigungszeiten (hier: Verbleib am Stand) exponentialverteilt sind [10]. λ lässt sich daher mittels eines Maximum-Likelihood-Schätzers auf $\lambda \approx \frac{1}{\bar{x}} = 0,2916$ determinieren. Daraus folgt:

$$T \sim \text{Exp}(3,4282)$$

Es ist des Weiteren davon auszugehen, dass die Besucher während des Standwechsels durchschnittlich 10 Minuten verbringen. Daraus ergibt sich:

$$T_{\text{Standwechsel}} \sim \text{Exp}(5,9988)$$

Im weiteren Verlauf wird angenommen, dass die Individuen während dieses Zeitintervalls keinem Infektionsrisiko unterliegen. Diese Annahme könnte sich dabei als zu optimistisch darstellen.

5.2.4 Bestimmung der Infektionswahrscheinlichkeit

Die Infektionswahrscheinlichkeit in % definiert sich als:

$$P_I = 1 - e^{-D_p} \quad (4)$$

wobei diese bei $D_p = 1,63$ % entspricht (Definition des Quantums) [5]. Es ergibt sich eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung. Anhand dieser kann während der Simulation für jedes nicht infizierte Individuum im Raum entsprechend entschieden werden, ob eine Infektion stattfindet.

6 Das Simulationsmodell

6.1 Annahmen an den Ablauf

- Betrachtungsgegenstand ist nicht die singuläre Untersuchungseinheit. Durch die Annahme, ein einzelner Messestand stelle einen Raum dar, wird das Berücksichtigen der Messehalle als einzelne Untersuchungseinheit obsolet. Relevant bleibt die Anzahl der Messestände
- Infiziert, jedoch nicht infektiös, ist nur jemand, der auf der Messe infiziert wurde (siehe Annahmen für Gleichung (2))

6.2 Beschreibung des Ablaufs

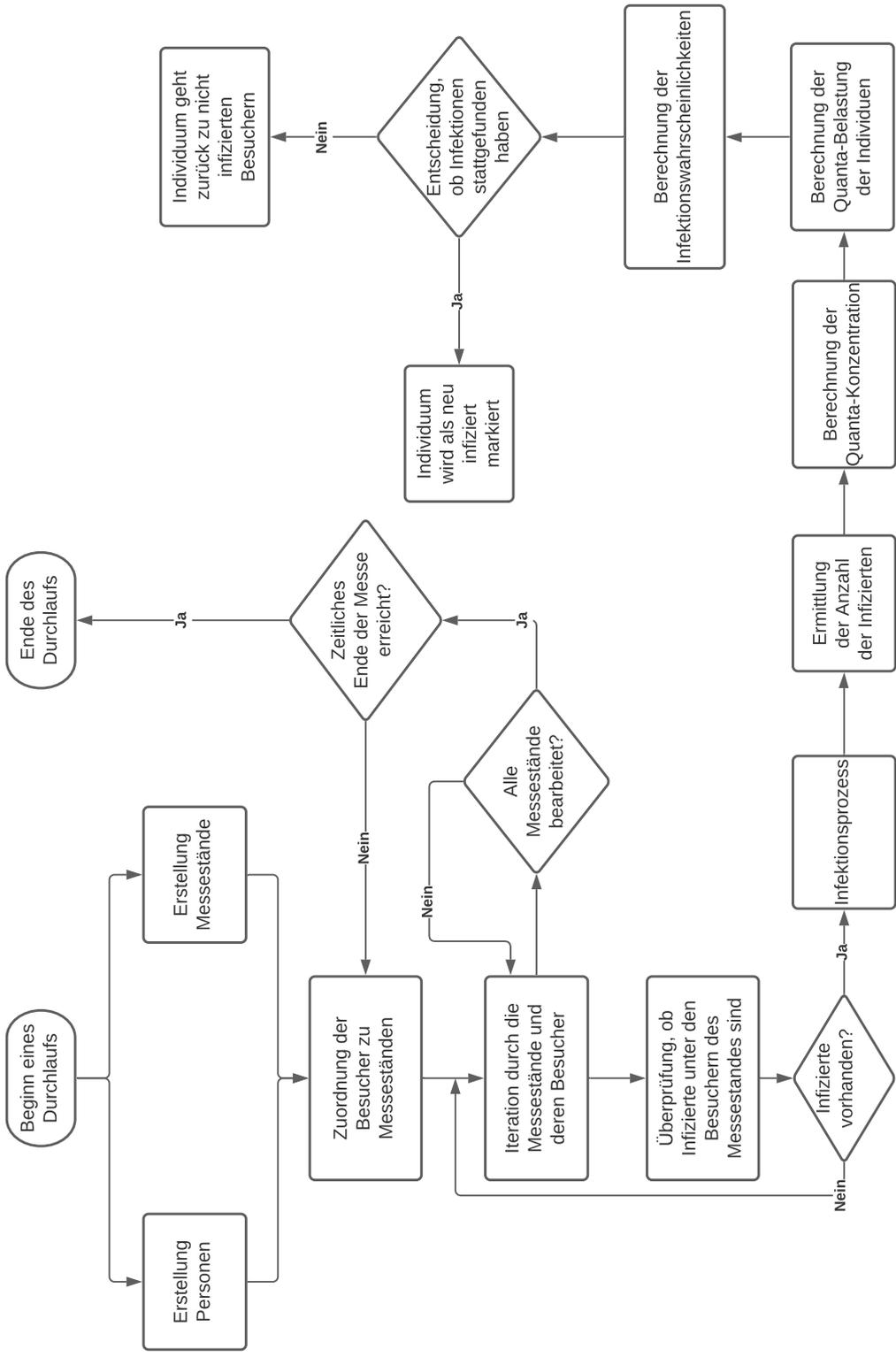
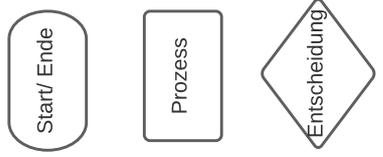
Startet ein Durchlauf, so wird zuerst anhand der bereits definierten Parameter eine Besuchergruppe der Messe erstellt. Diese enthält auch den Anteil der infizierten Besucher. Weiter werden die Messestände erstellt, wobei auch hier die beschriebenen Parameter berücksichtigt werden. Nun werden die Besucher zufällig den Ständen zugeordnet, wobei jeder Besucher hierfür eine Aufenthaltsdauer erhält. Für die Anzahl der Besucher an einem Stand wird eine Normalverteilung zugrunde gelegt. Daraufhin werden die Messestände und dessen Besucher iterativ auf die Anzahl der Infizierten untersucht. Befinden sich Infizierte an einem Stand, werden zufällig die Quanta-Emissionsrate sowie alle weiteren Parameter bestimmt. Nun wird anhand dessen eine Infektionswahrscheinlichkeit für die einzelnen Individuen errechnet, welche als Basis der Infektionswahrscheinlichkeit gilt. Ist die Iteration durch die Messestände abgeschlossen, erhalten die Besucher einen zusätzlichen Abzug auf ihre restliche Besuchszeit, um etwaige Wegzeiten zu berücksichtigen. Die Besucher werden nun erneut zufällig den Ständen zugeordnet, und der Prozess wiederholt sich, bis das Zeitlimit eines Messtages erreicht wird.

6.3 Eine grafische Darstellung des Ablaufs

Das Simulationsmodell lässt sich ebenfalls mittels eines Flussdiagramms grafisch darstellen.

Ablauf der Simulation

Legende



7 Weitere Daten für die Simulation

7.1 Bestimmung der erwarteten Anzahl von Infizierten auf einer Messe

Laut der RKI Altersverteilung für Corona-Infektionen beträgt die größte Zielgruppe für Messen die Altersgruppe von 20 bis 64 Jahre, die einen Gesamtanteil an den Infektionen von 64,45 % aufweist [16]. Dem aktuellen Situationsbericht des RKI (Stand: 07.01.2022) entnommen, betragen die akuten Fälle 639.500 [17], woraus sich ergibt, dass ca. 413.426 akute Fälle auf die Zielgruppe der Messen zutreffend sind. Insgesamt leben 49.548.821 Menschen zwischen 20 und 64 Jahren in Deutschland [18]. Es ergibt sich ein erwarteter Anteil an infizierten Besuchern auf Messen von 0,8344 %.

7.2 Messestände

Es zeigt sich als sinnvoll, verschiedene Messe-Szenarien in dem Simulationsmodell zu berücksichtigen. Die Szenarien werden dabei anhand von Quantilen definiert, wobei jeweils nur die Daten zwischen den Quantilen zur Definition des Szenarios genutzt werden. Szenarien A, B, C und D sind wie folgt aufgebaut:

	Szenario A (0.25-Quantil)	Szenario B (0.50-Quantil)	Szenario C (0.75-Quantil)	Szenario D (max 25)%
Besucher pro Tag (Median):	2.247	5.627	11.448	22.337
Besucher pro Tag (Spannweite)	[393, 3.720]	[3.721, 8.046]	[8.047, 16.936]	[16.937, 89.658]
Durchschnittliche Besucher insgesamt:	6.745	23.143	48.684	148.825
Dauer der Messen in Tagen (Modus):	3	3	4	5
Dauer eines Messtages in Stunden:	10	10	10	10
Verbleib der Besucher auf der Messe in Stunden:	[5, 10]	[5, 10]	[5, 10]	[5, 10]
Durchschnittliche Anzahl der Aussteller:	262	564	1.020	2.120

Für die Besucher pro Tag wird jeweils eine Gleichverteilung angenommen. Die Zeit, welche der individuelle Besucher auf der Messe verbringt, ist unter gegebenem Intervall ebenfalls mit einer Gleichverteilung bestimmt worden. Die Größe der Messestände wird mittels diskreter Verteilung bestimmt, wobei die Höhe der Messestände der deterministischen Annahme von 2,70 Metern unterliegt. Die Verteilungsannahmen für die Größe der Stände ermittelt sich aus folgenden Häufigkeiten [15], wobei jeweils die Klassenmitten der Größen berücksichtigt werden:

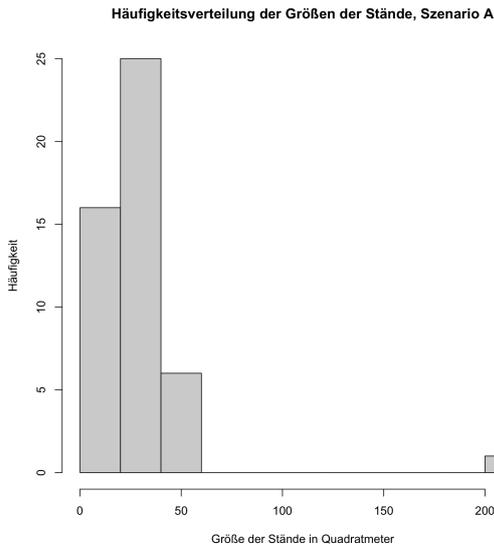


Abbildung 1:
 Relative Häufigkeit 10 m²: 33,33%
 Relative Häufigkeit 30 m²: 52,08%
 Relative Häufigkeit 60 m²: 12,5%
 Relative Häufigkeit 210 m²: 2,083%

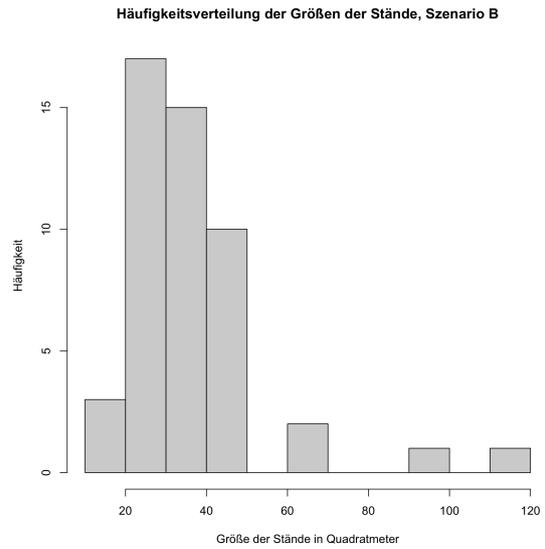


Abbildung 2:
 Relative Häufigkeit 15 m²: 6,122%
 Relative Häufigkeit 25 m²: 34,69%
 Relative Häufigkeit 35 m²: 30,61%
 Relative Häufigkeit 45 m²: 20,42%
 Relative Häufigkeit 65 m²: 4,082%
 Relative Häufigkeit 95 m²: 2,042%
 Relative Häufigkeit 115 m²: 2,042%

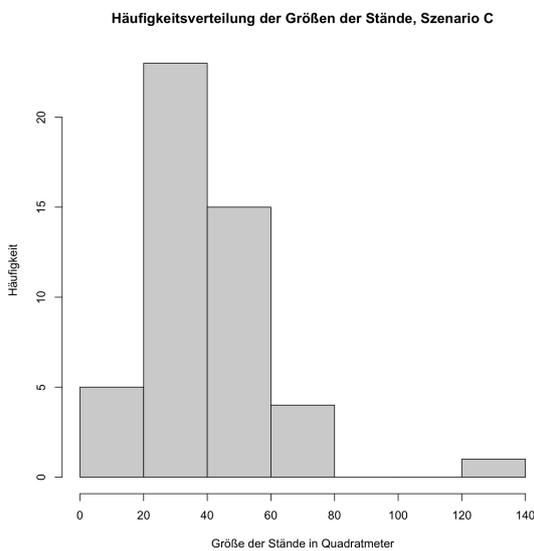


Abbildung 3:
 Relative Häufigkeit 10 m²: 10,42%
 Relative Häufigkeit 30 m²: 47,92%
 Relative Häufigkeit 50 m²: 31,25%
 Relative Häufigkeit 70 m²: 8,333%
 Relative Häufigkeit 130 m²: 2,083%

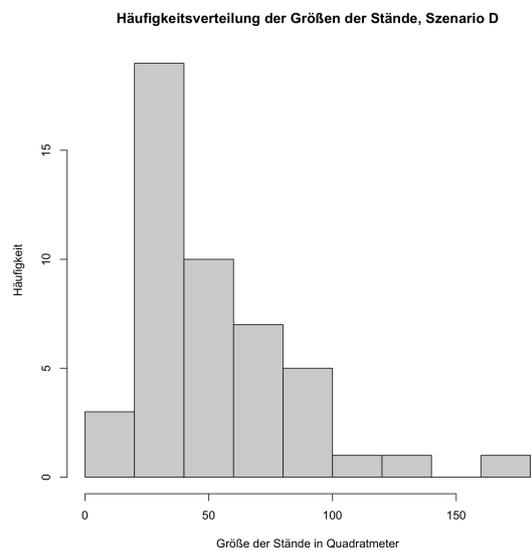


Abbildung 4:
 Relative Häufigkeit 10 m²: 6,383%
 Relative Häufigkeit 30 m²: 40,43%
 Relative Häufigkeit 50 m²: 21,28%
 Relative Häufigkeit 70 m²: 14,89%
 Relative Häufigkeit 90 m²: 10,64%
 Relative Häufigkeit 110 m²: 2,128%
 Relative Häufigkeit 130 m²: 2,128%
 Relative Häufigkeit 170 m²: 2,128%

8 Auswertung

8.1 Beschreibung

Für die Simulation wurden für die Szenarien A, B und C jeweils 10.000 Durchläufe simuliert. Szenario D beschränkt sich aufgrund von Rechenkapazitäten auf 1.000 Durchläufe. Ein Signifikanzverlust durch die geminderte Anzahl an Durchläufen lässt sich jedoch, wie nachfolgend gezeigt, nicht erkennen. Es wird daher für die weitere Auswertung eine ausreichende Repräsentanz vorausgesetzt. Erste Analysen geben Einblick in die zunehmende Gefahrenlage je größer die Messeveranstaltung ist. So lässt sich ein eindeutiger linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Besucher und der durchschnittlichen Anzahl an Besucher, die ein infizierter Besucher angesteckt hat, (im weiteren Verlauf: die 'Reproduktionszahl') erkennen. Die nachfolgenden Diagramme sollen durch eine Visualisierung ein besseres Verständnis der Ergebnisse ermöglichen, sowie als Grundlage für eine weitere Diskussion der Ergebnisse dienen. Für ein besseres Verständnis möchten die Autoren folgende weiterführende Überlegungen tätigen. In den Kalenderwochen 50, 51, 52, 1 (2021, 2022) sind laut RKI 693.506 neue Infektionen auf die Altersgruppe von 14-59 zurückzuführen (Hinweis: Den Autoren ist bewusst, dass für die Simulation eine Altersgruppe von 20 bis 64 Jahren vorausgesetzt wurde. Die für diese Berechnung benötigten Daten finden sich jedoch in einer anderen Klassierung wieder. Eine gewisse Unschärfe in nachfolgender Rechnung ist daher zu berücksichtigen) [19]. In demselben Zeitraum wurden laut RKI 7.384 Hospitalisierungen in besagter Altersgruppe registriert [20]. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Hospitalisierungsrate von ca. 1,06 % (Ein potenzieller Verzug zwischen den Neuinfektionen und den Hospitalisierungen ist den Autoren hierbei ebenfalls bewusst. Auch hier wird für folgende Berechnung eine Unschärfe akzeptiert. Es ist jedoch nicht von einer maßgeblichen Beeinflussung des Resultats auszugehen). Die Dauer einer Messe in Szenario A, B, C, und D ergibt sich, ermittelt durch den Modus, als 3, 3, 4 und 5 Tage. Zufällig wurden nun aus den Szenarien jeweils die entsprechende Anzahl der Tage gezogen. Anhand dieser Werte wurde nun ein Erwartungswert der Hospitalisierungen, welche auf die jeweilige Messeveranstaltung zurückzuführen wären, errechnet. Die Ergebnisse zeigen sich wie folgt:

	Dauer der Messe in Tagen	Anzahl der Besucher, kumuliert	Anzahl der Neuinfektionen, kumuliert	Erwartungswert der Hospitalisierungen
Szenario A	3	7.735	68	0,72
Szenario B	3	20.041	238	2,52
Szenario C	4	49.758	533	5,65
Szenario D	5	269.860	6.673	70,73

Von einer Berechnung der zu erwartenden Sterbefälle möchten die Autoren hierbei absehen. Die Sterberate liegt jedoch in der Altersgruppe von 20 bis 69 Jahren bei ca. 0,347 % [19, 20] (berechnet über den gesamten Zeitraum der Aufzeichnung, Beginn KW 10, 2020).

8.2 Ein Auszug aus den Ergebnissen

Einen Einblick in die detaillierten Ergebnisse soll nachfolgende Tabelle ermöglichen. Dabei wurden für alle Szenarien sowie für eine Akkumulation dieser die Quartile sowie jeweils das Minimum und Maximum der Neuinfektionen aus den Ergebnissen ermittelt. Eine Spalte stellt jeweils das Ergebnis einer Simulation dar, Grundlage der Berechnungen stellt dabei die Anzahl der Neuinfektionen dar. So zeigt das jeweilige Maximum nicht den maximal erreichten R-Wert, sondern stellt den R-Wert des errechneten Maximums an Neuinfektionen dar. Die Autoren möchten dabei darauf hinweisen, dass das Minimum des Szenario A keinen Einzelfall darstellt. So ist es insgesamt bei 260 der 10.000 Durchläufe zu keiner Infektion gekommen. Durchschnittlich fanden sich auf den Messen ohne Infektionsgeschehen rund 734 Besucher ein, darin enthalten waren durchschnittlich 4 infizierte Besucher.

Tabelle 1: Ein Auszug aus den Simulationsergebnissen

	Anzahl Besucher	Davon infiziert	Neuinfektionen	R-Wert	Durchschnittliche Besuchszeit eines Besuchers
Szenario A	Minimum	6	0	0	7,59
	0.25-Quantil	9	5	0,56	7,49
	0.50-Quantil	14	13	0,93	7,5
	0.75-Quantil	25	26	1,04	7,57
	Maximum	43	79	1,84	7,48
Szenario B	Minimum	23	7	0,30	7,50
	0.25-Quantil	42	35	0,83	7,52
	0.50-Quantil	46	52	1,13	7,51
	0.75-Quantil	60	73	1,22	7,49
	Maximum	84	147	1,75	7,51
Szenario C	Minimum	51	33	0,65	7,52
	0.25-Quantil	88	92	1,05	7,49
	0.50-Quantil	98	133	1,36	7,50
	0.75-Quantil	121	184	1,52	7,51
	Maximum	161	310	1,93	7,50
Szenario D	Minimum	121	106	0,88	7,50
	0.25-Quantil	284	514	1,81	7,51
	0.50-Quantil	419	1.104	2,63	7,48
	0.75-Quantil	606	2.038	3,36	7,50
	Maximum	767	3.383	4,41	7,50
Alle Szenarien	Minimum	6	0	0	7,59
	0.25-Quantil	34	23	0,68	7,54
	0.50-Quantil	48	55	1,15	7,48
	0.75-Quantil	65	108	1,66	7,51
	Maximum	767	3.383	4,41	7,50

8.3 Häufigkeitsverteilungen der Neuinfektionen

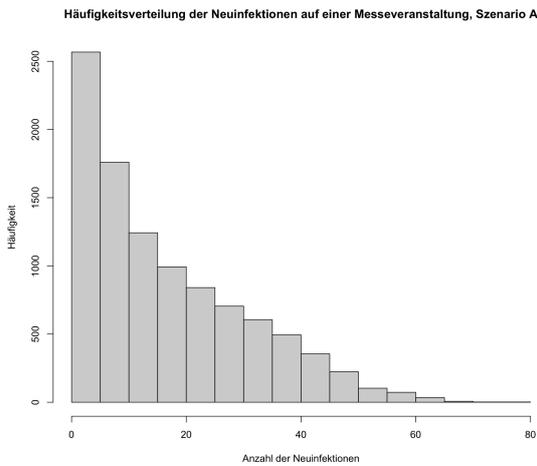


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung, Szenario A

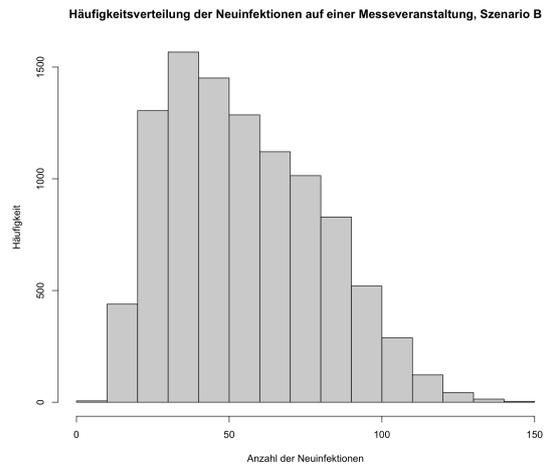


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung, Szenario B

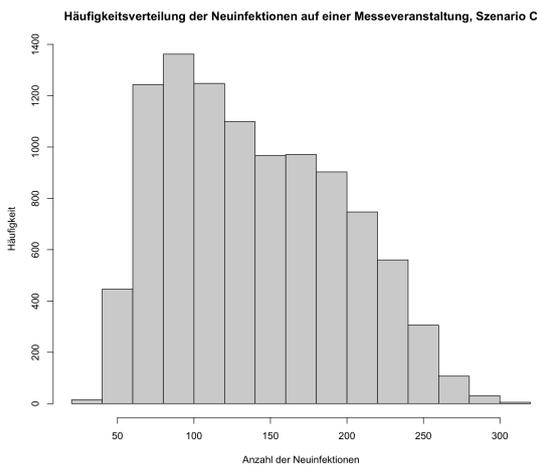


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung, Szenario C

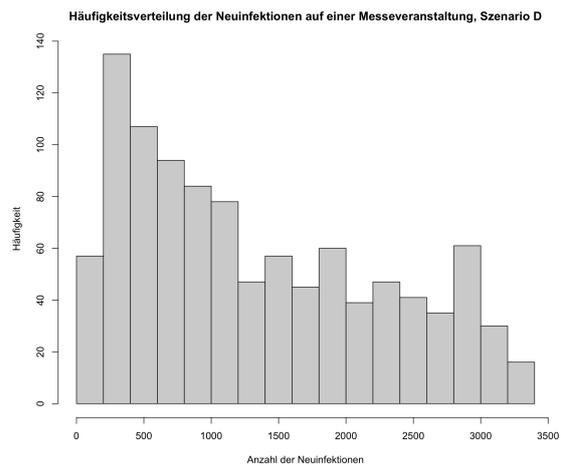


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung, Szenario D

Eine Veränderung der Gefahrenlage lässt sich durch Betrachtung der Histogramme deutlich erkennen. So ist in Abbildung 5 noch eine klare Tendenz für eine geringere Anzahl an Neuinfektionen zu erkennen. Mit Ausweitung der Besucherzahlen verliert diese Tendenz jedoch zunehmend an Bedeutung, vielmehr lässt sich eine Veränderung hin zu einer 'Gleichverteilung' erkennen. Ein erster Erkenntnisgewinn deutet hier also auf eine steigende Gefahrenlage mit Zunahme der Besucheranzahl hin.

8.4 Regressionsanalysen der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen

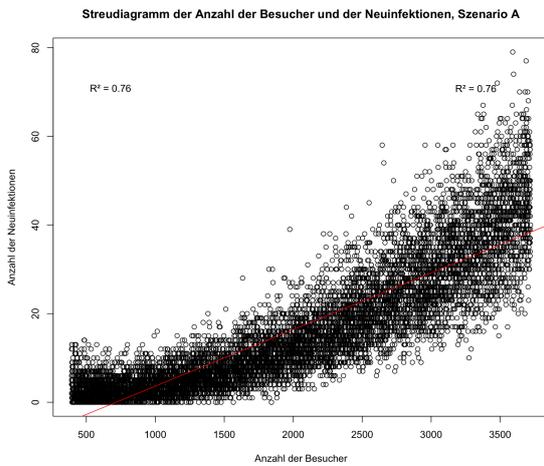


Abbildung 9: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen, Szenario A
 $R^2 = 0,7602$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,8719$; p-Wert $< 2,2e-16$

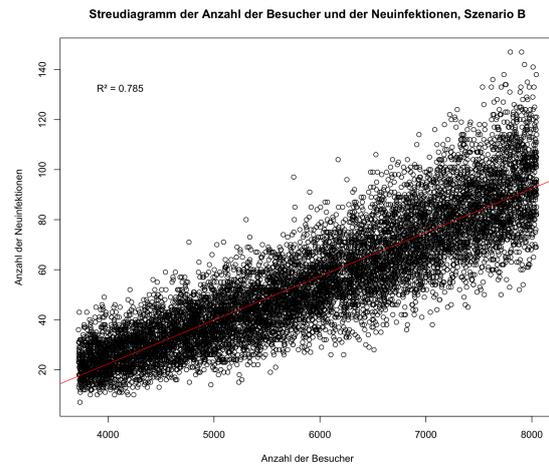


Abbildung 10: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen, Szenario B
 $R^2 = 0,7849$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,886$; p-Wert $< 2,2e-16$

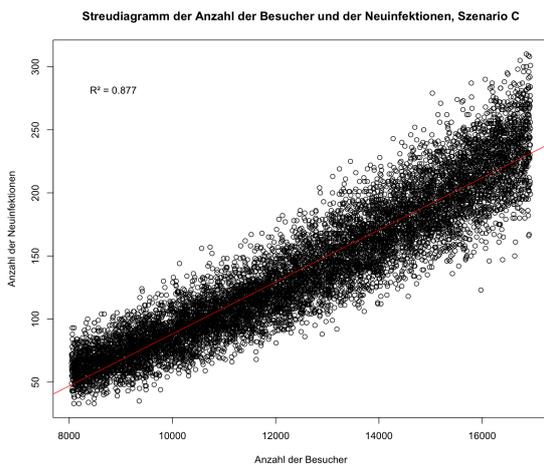


Abbildung 11: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen, Szenario C
 $R^2 = 0,8766$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,9363$; p-Wert $< 2,2e-16$

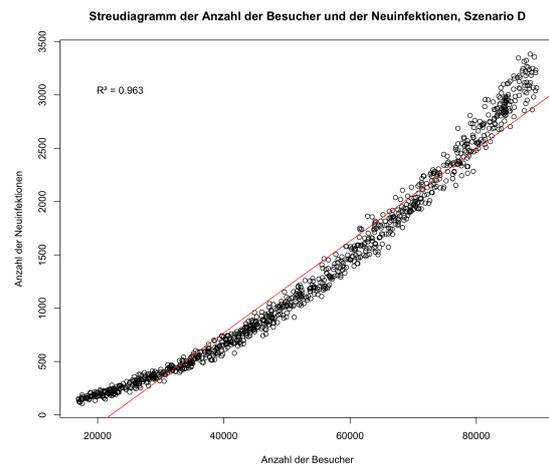


Abbildung 12: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen, Szenario D
 $R^2 = 0,9631$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,9816$; p-Wert $< 2,2e-16$

Ein starke Signifikanz lässt sich in den Streudiagrammen der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung erkennen. Bemerkenswert ist hierbei die deutliche Zunahme des Bestimmtheitsmaßes, welches sich von $0,7602$ bis hin zu $0,9631$ steigert. Dies ermöglicht eine weitere Interpretation in Richtung einer zunehmenden Gefährdungslage bei einer fortschreitenden Anzahl an Besuchern. Ebenfalls erwähnenswert sind die Korrelationskoeffizienten, welche ebenfalls mit den Szenarien zunehmen. Ein Signifikanztest bestätigt mit einem p-Wert von nahe zu null (p-Wert $< 2,2e-16$) die beobachteten Entwicklungen.

8.5 Regressionsanalysen der Anzahl der Besucher und der R-Werte

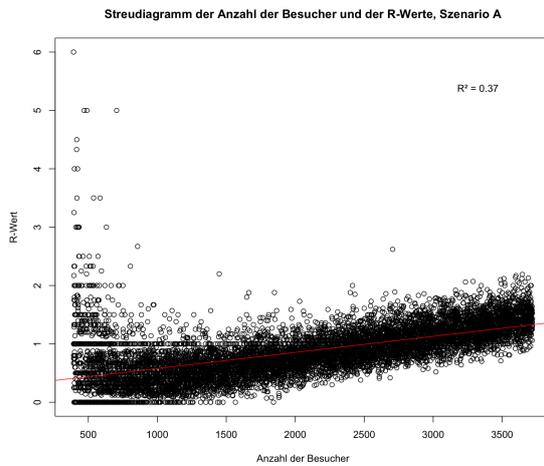


Abbildung 13: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der R-Werte, Szenario A
 $R^2 = 0,3698$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,6080$; p-Wert $< 2,2e-16$

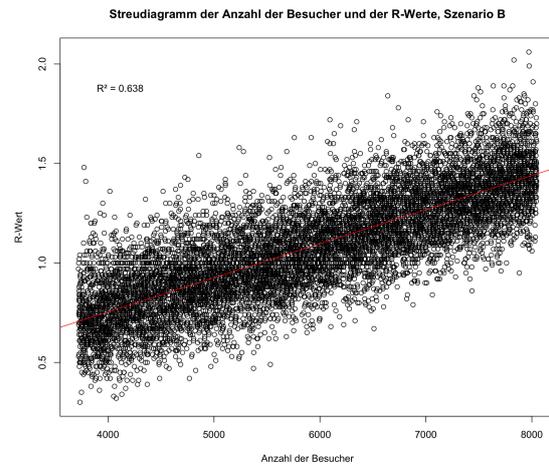


Abbildung 14: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der R-Werte, Szenario B
 $R^2 = 0,6377$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,7985$; p-Wert $< 2,2e-16$

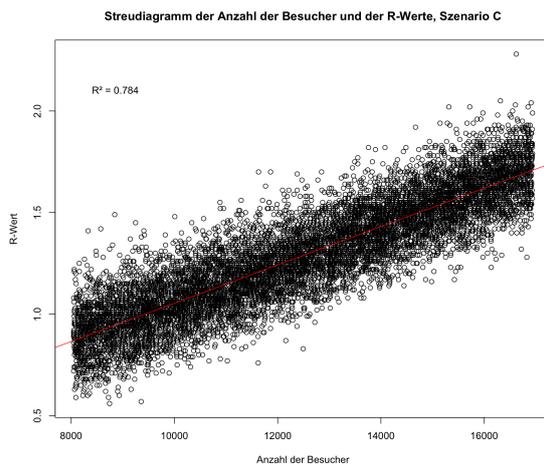


Abbildung 15: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der R-Werte, Szenario C
 $R^2 = 0,7836$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,8852$; p-Wert $< 2,2e-16$

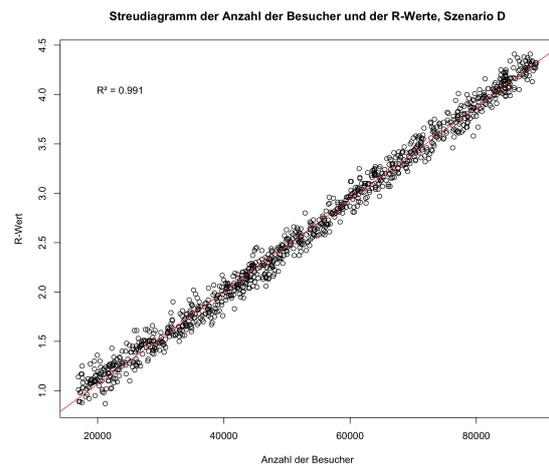


Abbildung 16: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der R-Werte, Szenario D
 $R^2 = 0,9912$; p-Wert $< 2,2e-16$
 Korrelationskoeffizient = $0,9956$; p-Wert $< 2,2e-16$

Ein fast perfekter linearer Zusammenhang der Anzahl der Besucher und dem R-Wert stellt Abbildung 16 dar. Hierbei wurde ein R^2 von $0,9912$ sowie ein Korrelationskoeffizient von $0,9956$ (p -Wert $< 2,2e-16$) errechnet. Eine erhöhte Anzahl an Simulationen könnte hierbei zu einer größeren Varianz führen, es ist jedoch nicht von einer deutlichen Abweichung der Tendenz auszugehen, da bereits Szenario A, B und C eine ähnliche, wenn auch nicht so eindeutige, Tendenz aufweisen. Eine bemerkenswerte Abweichung zeigt Szenario A. Hier konnte bei einer Simulation ein R-Wert von 6 erreicht werden, welcher sich als Maximum der gesamten Simulation zeigt.

8.6 Akkumulation der Szenarien

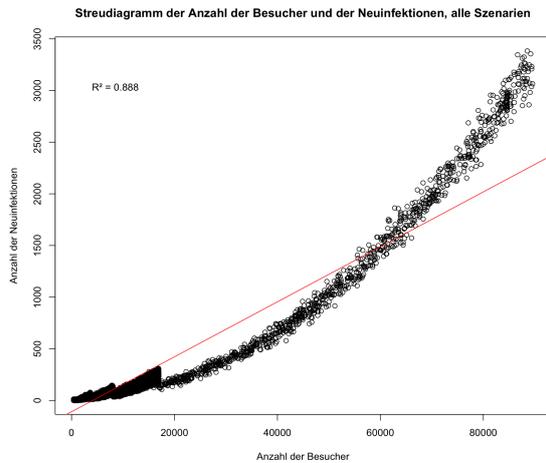


Abbildung 17: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der Neuinfektionen, alle Szenarien
 $R^2 = 0,8878$; p-Wert $< 2,2e-16$
Korrelationskoeffizient = $0,9422$; p-Wert $< 2,2e-16$

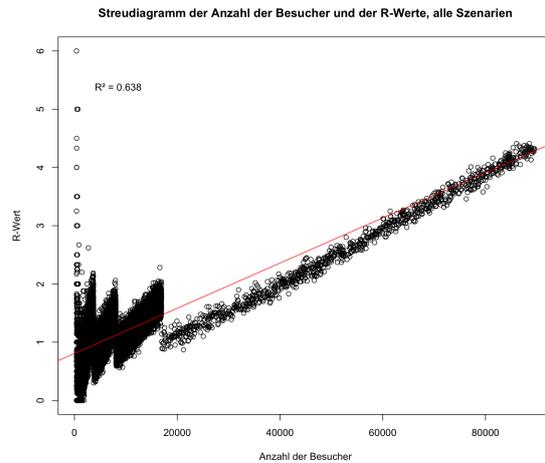


Abbildung 18: Streudiagramm der Anzahl der Besucher und der R-Werte, alle Szenarien
 $R^2 = 0,638$; p-Wert $< 2,2e-16$
Korrelationskoeffizient = $0,7988$; p-Wert $< 2,2e-16$

Ein Zusammenfügen der Szenarien zeigt, dass zuvor getroffene Beobachtungen zu bestätigen sind. In beiden Diagrammen sind deutliche Trends zu erkennen, das Bestimmtheitsmaß für Abbildung 17 beträgt $0,8878$ (p-Wert $< 2,2e-16$), in Abbildung 18 beträgt das R^2 $0,638$ (p-Wert $< 2,2e-16$). Die in der Akkumulation bestätigten Beobachtungen sollen nun als Grundlage für das folgende Fazit dienen.

9 Fazit

Die Annahme, Messeveranstaltungen können risikoarm oder gar sicher durchgeführt werden, lässt sich bei Betrachtung der erzielten Ergebnisse nach Auffassung der Autoren nicht aufrechterhalten. Die in mehreren Tausenden durchgeführten Berechnungen, die jeweils ein Zufallsszenario erzeugen, erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass jede Messeveranstaltung mit mehr als 757 Besuchern bereits ein nennenswertes, stark steigendes Risiko darstellt. Dieser Zusammenhang wird spätestens in der Akkumulation der Szenarien deutlich. Der hier errechnete Korrelationskoeffizient für die Anzahl der Besucher und den Neuinfektionen auf einer Messeveranstaltung beläuft sich auf $0,9422$, so ist dieser Wert in seiner Eindeutigkeit kaum zu übertreffen. Ebenfalls das Bestimmtheitsmaß von $0,8878$ für besagte Variablen lässt eindeutige Schlüsse auf die Gefahrenlage für Messeveranstaltungen zu. Gleichbedeutsam sind die aus diesen Szenarien ermittelten Reproduktionswerte (R-Werte), für die bei größeren Veranstaltungen einen Maximalwert in Höhe von $4,41$ erreicht wurde, bei kleineren Veranstaltungen sogar bis zu $6,0$. Das Maximum des R-Wertes bei großen Messeveranstaltungen liegt somit um ca. viermal höher als der R-Wert für Gesamtdeutschland, der für den 21.01.2022 mit $1,15$ angegeben wird [21].

10 Referenzen

- [1] Statista: Statistiken und Zahlen zur Coronapandemie 2019-2022, 17.01.2022
- [2] Statista: Weltweite Zahl der Todesfälle im Zusammenhang mit dem Coronavirus (Covid-19) seit Januar 2020, 17.01.2022
- [3] ifo Institut, AUMA, 2018: Die deutsche Messewirtschaft
- [4] G. Buonanno and L. Stabile and L. Morawska, Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment, 2020
- [5] G. Buonanno and L. Morawska and L. Stabile, Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications, 2020
- [6] REHVA Covid-19 Ventilation Calculator documentation, 2021
- [7] Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., Omura, T. and Haas, C.N. (2010), Development of a Dose-Response Model for SARS Coronavirus. Risk Analysis, 30: 1129-1138
- [8] <https://www.rocketexpo.com/branche/tiermedizin>
- [9] <https://www.rocketexpo.com/branche/metallverarbeitung>
- [10] Ulrich Thonemann, Operations Management, 3., aktualisierte Auflage, 2015
- [11] Lelieveld, J.; Helleis, F.; Borrmann, S.; Cheng, Y.; Drewnick, F.; Haug, G.; Klimach, T.; Sciare, J.; Su, H.; Pöschl, U. Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 8114.
- [12] Yafang Cheng and Nan Ma and Christian Witt and Steffen Rapp and Philipp S. Wild and Meinrat O. Andreae and Ulrich Pöschl and Hang Su, Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission, 2021
- [13] Asadi, S., Cappa, C.D., Barreda, S. et al. Efficacy of masks and face coverings in controlling outward aerosol particle emission from expiratory activities. Sci Rep 10, 15665 (2020)
- [14] Nazaroff, William W, Commemorating 20 years of Indoor Air, 2011
- [15] FKM Zertifizierte Messedaten, 2019
- [16] RKI Covid-19-Fälle nach Altersgruppen 07.01.2022
- [17] RKI Situationsbericht, 07.01.2022
- [18] Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland zum 31. Dezember 2020, Destatis
- [19] RKI Covid-19-Fälle nach Altersgruppen, 19.01.2022
- [20] COVID-19-Fälle nach Meldewoche und Geschlecht sowie Anteile mit für COVID-19 relevanten Symptomen, Anteile Hospitalisierter/Verstorbener und Altersmittelwert/-median, 19.01.2022
- [21] RKI Situationsbericht, 21.01.2022