



Umgang mit den Risiken einer Übertragung von COVID-19 im öffentlichen Personenverkehr

Vermeidung von Ansteckungsrisiken durch einen Algorithmus zur Ermittlung der maximalen Anzahl Reisender je Fahrzeugteil in Abhängigkeit vom Infektionsgeschehen, so dass es statistisch zu keiner Ansteckung kommt



Konzeptpapier

Münster
Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in das Thema und Zielsetzung der Arbeit	1
2 Untersuchungsgegenstand	3
3 Methodik	4
3.1 Einfluss benachbarter Wagenkästen	4
3.2 Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole je Wagenkasten	6
3.3 Justierung des Besetzungsgrads je Wagenkasten	8
4 Bündelung der Ansätze in einen Algorithmus	10
5 Exemplarische Betrachtung	12
5.1 Fahrzeuge im Schienenpersonennahverkehr	12
5.1.1 Verbrennungstriebwagen LINT	13
5.1.2 Verbrennungstriebwagen Talent 1	18
5.1.3 Elektrotriebwagen FLIRT 3	23
5.1.4 Elektrotriebwagen Talent 2	28
5.1.5 Doppelstockreisezugwagen	33
5.2 Fahrzeuge im öffentlichen Personennahverkehr	38
5.2.1 Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)	39
5.2.2 Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)	44
5.2.3 Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)	49
5.2.4 Solobus	54
5.2.5 Gelenkbus	59
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	64
7 Resümee und Ausblick	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Zusammenhänge des Einflusses benachbarter Wagenkästen	5
Abbildung 3.2: Ermittlung der maximal möglichen Anzahl Reisender	8
Abbildung 4.1: Algorithmus zur Ermittlung optimaler Besetzungsgrade	10
Abbildung 5.1: Regionalexpress mit Doppelstockwagen	12
Abbildung 5.2: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage.....	14
Abbildung 5.3: Ergebnis LINT für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	15
Abbildung 5.4: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	16
Abbildung 5.5: Ergebnis LINT für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	17
Abbildung 5.6: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	19
Abbildung 5.7: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	20
Abbildung 5.8: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	21
Abbildung 5.9: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	22
Abbildung 5.10: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	24
Abbildung 5.11: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	25
Abbildung 5.12: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	26
Abbildung 5.13: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage.....	27
Abbildung 5.14: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	29
Abbildung 5.15: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	30
Abbildung 5.16: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	31
Abbildung 5.17: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	32
Abbildung 5.18: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	34
Abbildung 5.19: Ergebnis DoSto für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	35
Abbildung 5.20: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	36
Abbildung 5.21: Ergebnis DoSto für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	37
Abbildung 5.22: Gelenkbusse für den Stadtverkehr	38
Abbildung 5.23: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	40
Abbildung 5.24: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	41
Abbildung 5.25: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	42
Abbildung 5.26: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	43
Abbildung 5.27: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	45
Abbildung 5.28: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	46
Abbildung 5.29: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	47
Abbildung 5.30: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	48
Abbildung 5.31: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	50
Abbildung 5.32: Ergebnis Typ B für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	51
Abbildung 5.33: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	52
Abbildung 5.34: Ergebnis Typ B für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	53
Abbildung 5.35: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	55
Abbildung 5.36: Ergebnis Solobus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	56
Abbildung 5.37: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	57
Abbildung 5.38: Ergebnis Solobus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage.....	58
Abbildung 5.39: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage 60	

Abbildung 4.40: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	61
Abbildung 5.41: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage...	62
Abbildung 5.42: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	63
Abbildung 6.1: Übersicht maximal möglicher Besetzungsgrad im SPNV	65
Abbildung 6.2: Übersicht maximal möglicher Besetzungsgrad im ÖPNV.....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Übersicht Untersuchungsgegenstand	3
Tabelle 3.1: Übersicht verwendeter Parameter	6
Tabelle 3.2: Übersicht Standard-Parameter Max-Planck-Institut für Chemie	7
Tabelle 5.1: Merkmale Verbrennungstriebwagen LINT	13
Tabelle 5.2: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	14
Tabelle 5.3: Ergebnis LINT für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	15
Tabelle 5.4: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	16
Tabelle 5.5: Ergebnis LINT für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	17
Tabelle 5.6: Merkmale Verbrennungstriebwagen Talent 1	18
Tabelle 5.7: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	19
Tabelle 5.8: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	20
Tabelle 5.9: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	21
Tabelle 5.10: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	22
Tabelle 5.11: Merkmale FLIRT 3	23
Tabelle 5.12: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	24
Tabelle 5.13: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	25
Tabelle 5.14: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	26
Tabelle 5.15: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	27
Tabelle 5.16: Merkmale Talent 2	28
Tabelle 5.17: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	29
Tabelle 5.18: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	30
Tabelle 5.19: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	31
Tabelle 5.20: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	32
Tabelle 5.21: Merkmale DoSto-Wagen	33
Tabelle 5.22: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	34
Tabelle 5.23: Ergebnis DoSto für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	35
Tabelle 5.24: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	36
Tabelle 5.25: Ergebnis DoSto für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	37
Tabelle 5.26: Merkmale SSB DT8	39
Tabelle 5.27: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	40
Tabelle 5.28: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	41
Tabelle 5.29: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	42
Tabelle 5.30: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	43
Tabelle 5.31: Merkmale GTZ6-H	44
Tabelle 5.32: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	45
Tabelle 5.33: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	46
Tabelle 5.34: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	47
Tabelle 5.35: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	48
Tabelle 5.36: Merkmale Stadtbahn Typ B	49
Tabelle 5.37: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	50
Tabelle 5.38: Ergebnis Typ B für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	51
Tabelle 5.39: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	52

Tabelle 5.40: Ergebnis Typ B für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	53
Tabelle 5.41: Merkmale Solobus	54
Tabelle 5.42: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage	55
Tabelle 5.43: Ergebnis Solobus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage.....	56
Tabelle 5.44: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage.....	57
Tabelle 5.45: Ergebnis Solobus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	58
Tabelle 5.46: Merkmale Gelenkbus	59
Tabelle 5.47: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage.....	60
Tabelle 5.48: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage	61
Tabelle 5.49: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage	62
Tabelle 5.50: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage	63

Abkürzungsverzeichnis

CRO	Charité Research Organisation
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ET	Elektrotriebwagen
EU	Europäische Union
Fz	Fahrzeug
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RKI	Robert Koch Institut
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
VT	Verbrennungstriebwagen

Formelzeichenverzeichnis

$\#R_{infi_{(\#R)}}$	Anzahl infizierte Personen in Abhängigkeit der Anzahl Mitreisender
$\#R_{max}$	Anzahl maximal statistisch-möglicher Reisender zur Ansteckungsvermeidung
$\#R_{IST}$	Anzahl Reisende aktuell im Wagenkasten
$AW_{(\#R)}$	Ansteckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Anzahl Mitreisender
AW_{WK_n}	Ansteckungswahrscheinlichkeit einer einzelnen Person
BG_{IST}	Besetzungsgrad aktuell im Wagenkasten
BG_{max}	Besetzungsgrad maximal statistisch-möglich zur Ansteckungsvermeidung
b_{WK}	Mittlere Breite des Fahrgastinnenraums für das gesamte Fahrzeug
$l_{T_{sysn}}$	Länge des Bereichs mit Einfluss auf einen Wagenkasten n
$l_{ü}$	Länge der relevanten Überschneidung zur Betrachtung eines Teilsystems
l_{WK_n}	Länge eines Wagenkastens n
Pl_n	Anzahl Sitzplätze im Wagenkasten n
$Pl_{T_{sysn}}$	Anzahl Sitzplätze mit Einfluss auf einen Wagenkasten n
R_0	Basisreproduktionszahl
Ü-Faktor	Überschneidungsfaktor aus der Größe der Öffnung zwischen den Wagenkästen
WK_n	Wagenkasten n als Teilsystem

1 Einführung in das Thema und Zielsetzung der Arbeit

Mit Ausbruch der weltweiten Pandemie im Zusammenhang mit dem aggressiven Coronavirus SARS-CoV-2¹ im Frühjahr 2020, wurde auch der Umgang mit den Ansteckungsrisiken im öffentlichen Personenverkehr umfassend debattiert. Bedingt durch die Interessen millionenfacher Nutzer des öffentlichen Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland, wurden und werden aktuell durch Forschung und Wissenschaft zahlreiche Untersuchungen zu möglichen Risiken bei der Nutzung von Bus und Bahn durchgeführt. Beispielsweise beschäftigt sich die gute Studie der Deutschen Bahn zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik, zur Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Aerosolen im Fahrgastraum von Schienenfahrzeugen, mit den theoretischen Strömungsverhältnissen und den damit verbundenen Bewegungsprofilen von kleinsten Teilchen in der Atemluft². Am 25.02.2021 hat Kim Björn Becker in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung einen Artikel zur Einschätzung des Robert Koch Instituts für das Risiko einer Ansteckung mit COVID-19 in Abhängigkeit unterschiedlicher Bereiche des öffentlichen Lebens veröffentlicht³. Hier schätzt das Robert Koch Institut das Ansteckungsrisiko im öffentlichen Personennahverkehr als „moderat“ ein⁴. Bei den indirekten Folgen, beispielsweise durch potenzielle Beschränkungen des öffentlichen Nahverkehrs, sieht das Robert Koch Institut „umfangreiche“ Auswirkungen. Mit einer weiteren Studie, durchgeführt von der Charité Research Organisation, sollte das Corona-Infektionsrisiko im öffentlichen Personennahverkehr weiter detailliert untersucht werden. Dazu wurden maßgeblich im Rhein-Main-Gebiet für fünf Wochen etwa 650 ausgewählte Pendlerinnen und Pendler regelmäßig befragt. Die Ergebnisse wurden mit den Ansteckungsrisiken im Individualverkehr verglichen und festgestellt, dass es auf Grundlage dieser Befragung zu ähnlichen Ansteckungsrisiken im öffentlichen Personennahverkehr und im motorisierten Individualverkehr kommt⁵.

Für die sichere Steuerung von Reisenden spielt für Verkehrsunternehmen und öffentliche Auftraggeber neben den theoretischen Abhandlungen insbesondere auch der praxistaugliche Umgang mit den Ansteckungsrisiken im öffentlichen Personenverkehr eine entscheidende Rolle. Gerade in der großen Unterschiedlichkeit der verschiedenen Fahrzeugtypen und insbesondere mit sich schnell ändernden Voraussetzungen, sind pauschale Ansätze zur

¹ severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2

² vgl. DB/DLR, 2020

³ vgl. Becker, Kim Björn, 2021

⁴ in einer Bewertung von „niedrig“ bis „umfangreich“ demnach ein mittleres Risiko

⁵ vgl. CRO, 2021

Reglementierung von Reisenden häufig nicht optimal umzusetzen. Hier setzt das vorliegende Konzeptpapier an und grenzt sich so von den bisherigen Ansätzen ab. Das Ziel dieser Arbeit ist die Herleitung einer standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole⁶ mit COVID-19 in den einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs. Außerdem soll die Möglichkeit geschaffen werden den Grad der Besetzung eben dieser Wagenkästen so optimal zu justieren, dass das Ansteckungsrisiko unterhalb einer definierten Risiko-Grenze bleiben kann. Dabei werden auch schnell veränderliche Rahmenbedingungen, wie beispielsweise der Ausfall eine Klimaanlage, berücksichtigt.

⁶ heterogenes Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen in einem Gas

2 Untersuchungsgegenstand

In diesem Konzeptpapier wurden die in Kapitel 3 und Kapitel 4 hergeleiteten Methoden auf insgesamt zehn verschiedene Fahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs angewendet. Diese Gruppe an Fahrzeugen unterteilt sich in zwei weitere Untergruppen, nämlich in die Gruppe der Fahrzeuge des Schienenpersonennahverkehrs und in die Gruppe der Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs. Dabei wurden Fahrzeugtypen gewählt, die eine unterschiedliche Anzahl an Wagenkästen⁷ aufweisen. In der Übersicht stellt sich der Untersuchungsgegenstand wie folgt dar.

	Hersteller	Fahrzeugtyp	Traktionsart	Einsatzort	Anzahl Sitzplätze	Anzahl Wagenkästen
SPNV	Alstom	LINT	VT	Sauerland	129	2
	Bombardier	Talent 1	VT	Münsterland	129	3
	Stadler	FLIRT 3	ET	Westfalen	228	4
	Bombardier	Talent 2	ET	Rhein-Sieg	300	5
	Bombardier	DoSto ⁸	Wagen	NRW	143	2 ⁹
ÖPNV	Konsortium ¹⁰	SSB DT8	Stadtbahn	Stuttgart	108	2
	HeiterBlick	GTZ6-H	Stadtbahn	Hannover	54	2
	Siemens DUEWAG	Typ B	Stadtbahn	Rhein/Ruhr	72	2
	MAN	diverse	Solobus	diverse	35	1
	MAN	diverse	Gelenkbus	diverse	50	1 ¹¹

Tabelle 2.1: Übersicht Untersuchungsgegenstand

⁷ als Wagenkasten wird in dieser Arbeit die bauliche Hülle zwischen zwei Wagenübergängen bezeichnet

⁸ Doppelstockreisezugwagen

⁹ in der Betrachtung mit je einen Wagenkasten für das Ober- und das Unterdeck

¹⁰ Konsortium aus Siemens, Stadler, DUEWAG und Bombardier

¹¹ Gelenkbus wird als ein Wagenkasten betrachtet

3 Methodik

Die hier aufgestellte Methode zum Umgang mit den Ansteckungsrisiken durch Aerosole in den einzelnen Wagenkästen von Bussen und Bahnen des öffentlichen Nahverkehrs, soll die Möglichkeit enthalten den Grad der Besetzung eben dieser Wagenkästen so optimal zu justieren, dass das Ansteckungsrisiko unterhalb einer definierten Risiko-Grenze bleiben kann. Dazu werden drei wesentliche Handlungsschritte durchlaufen.

- Ermittlung des Einflusses benachbarter Wagenkästen
- Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit einer einzelnen Person im betrachteten Wagenkasten
- Justierung des Besetzungsgrads je Wagenkasten so, dass das Ansteckungsrisiko durch Aerosole unter einer definierten Risiko-Grenze bleiben kann

Durch Anpassung entsprechender Parameter¹² können sich schnell verändernde Rahmenbedingungen, wie beispielsweise eine erhöhte Ansteckungsrate durch Virusmutationen, dargestellt werden. Dazu werden ausgewählte Parameter verändert und die drei Handlungsschritte iterativ mehrfach durchlaufen¹³. In den folgenden Unterkapiteln werden die drei Handlungsschritte näher erläutert.

3.1 Einfluss benachbarter Wagenkästen

Moderne Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs bestehen häufig aus mehreren Wagenkästen, die durch entsprechende Übergänge miteinander verbunden sind. Um Fahrgästen den Blick durch das gesamte Fahrzeug zu ermöglichen und so auch ein gewisses, subjektives Sicherheitsgefühl zu erzeugen, sind diese Wagenübergänge mit einer möglichst großen lichten Weite konzipiert. Mit der hier hergeleiteten Methode sollen einzelne Wagenkästen betrachtet werden. Dazu wird der Einfluss benachbarter Wagenkästen, in Abhängigkeit der Öffnung zwischen den Wagenübergängen, berücksichtigt. Das betrachtete System als gesamtes Fahrzeug setzt sich dabei aus einzelnen Teilsystemen¹⁴ je Wagenkasten zusammen. Dabei entspricht $l_{T_{\text{sysn}}}$ der Länge des Bereichs, der Einfluss auf den Wagenkasten n hat. Die Länge der relevanten Überschneidung für die Betrachtung eines Teilsystems wird mit $l_{\text{ü}}$ angegeben. Die mittlere Breite des Innenraums für das gesamte Fahrzeug ist b_{wk} und die

¹² vgl. Kapitel 3.2

¹³ vgl. Kapitel 4

¹⁴ ein Teilsystem entspricht den Bereich eines Wagenkastens inklusive Einfluss benachbarter Wagenkästen

Länge eines Wagenkastens n ist l_{WKn} . Der Überschneidungsfaktor \ddot{U} -Faktor wird aus der Größe der Öffnung zwischen den Wagenübergängen gebildet. Abbildung 3.1 illustriert die Zusammenhänge im Rahmen des Einflusses benachbarter Wagenkästen.

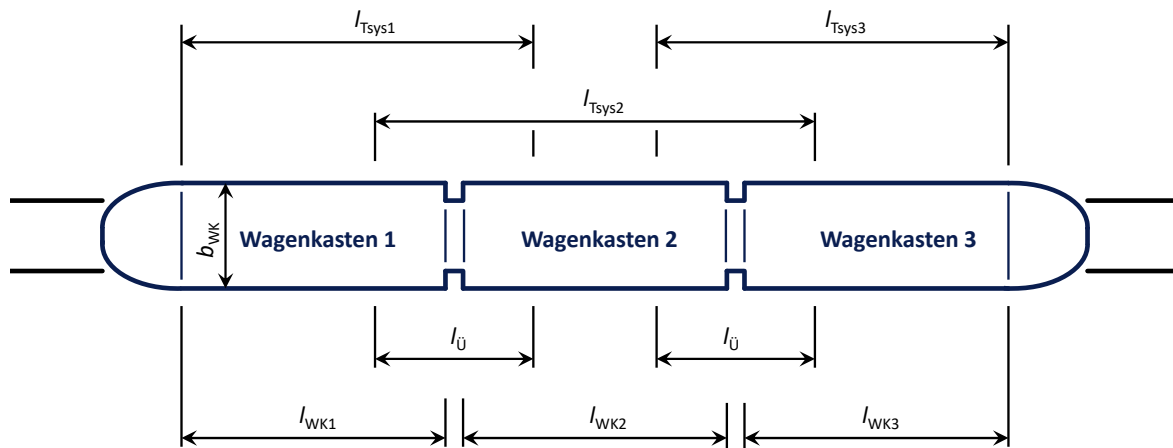


Abbildung 3.1: Zusammenhänge des Einflusses benachbarter Wagenkästen

Die Länge des Bereichs, der Einfluss auf einen Wagenkasten n hat (l_{Tsysn}), wird über das Produkt aus Überschneidungsfaktor (\ddot{U} -Faktor) mit der Länge des betrachteten Wagenkastens (l_{WKn}) ermittelt.

$l_{\ddot{U}} = l_{WKn} \times \ddot{U}\text{-Faktor}$	3.1-1
--	-------

Für die Längen der betrachteten Teilsysteme (l_{Tsysn}) gelten die Zusammenhänge der folgenden Formel, wobei Formel 3.1-2a für Endwagen und Formel 3.1-2b für Mittelwagen anzusetzen ist.

$l_{Tsysn} = l_{WKn} + \frac{l_{\ddot{U}}}{2}$	3.1-2a
$l_{Tsysn} = l_{WKn} + l_{\ddot{U}}$	3.1-2b

Analog zum Vorgehen bei der Bestimmung der einzelnen Längen für die Teilsysteme (l_{Tsysn})¹⁵ wird auch die Anzahl der Sitzplätze (P/l_{Tsysn}) mit Einfluss auf einen betrachteten Wagenkasten

¹⁵ ein Teilsystem entspricht den Bereich eines Wagenkastens inklusive Einfluss benachbarter Wagenkästen

über das jeweilige Platzangebot der benachbarten Wagenkästen (PI_{n-1} und PI_{n+1}) ermittelt. Die Formel 3.1-3a gilt dabei für Endwagen und die Formel 3.1-3b für Mittelwagen. Die entsprechenden Formeln setzen sich wie folgt zusammen.

$PI_{T_{\text{sysn}}} = PI_n + \frac{PI_{n+1} \times \text{Ü-Faktor}}{2}$	3.1-2a
$PI_{T_{\text{sysn}}} = PI_n + \frac{PI_{n+1} \times \text{Ü-Faktor}}{2} + \frac{PI_{n-1} \times \text{Ü-Faktor}}{2}$	3.1-2b

Nachdem die Bereiche mit Einfluss auf einen Wagenkasten n definiert wurden, kann mit den so ermittelten Werten die Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole für diesen Wagenkasten n bestimmt werden.

3.2 Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole je Wagenkasten

Die Ermittlung der Übertragungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs basiert auf Annahmen und Formeln aus dem Artikel *Aerosol transmission of COVID-19 and infection risk in indoor environments* von Jos Lelieveld at aliae¹⁶ und den daraus abgeleiteten Algorithmus des Max-Planck-Instituts für Chemie¹⁷. Dabei wurden die wesentlichen Parameter wie folgt angenommen.

Parameter	Wert	Anmerkung
Lautstärke durch Sprechen	2,0	Bereich 1,0 (leise) bis 9,0 (singen/schreien) unterstellt 2,0 (normale Lautstärke beim Sprechen)
Maskeneffizienz (ausatmen)	0,8	Bereich 0,0 (keine Maske) bis 1,0 (ABC-Schutz) unterstellt FFB2 ohne Auslassventil
Maskeneffizienz (einatmen)	0,7	Bereich 0,0 (keine Maske) bis 1,0 (ABC-Schutz) unterstellt FFB2 ohne Auslassventil
Redeanteil Fahrgäste	20,0 %	Bereich 0,0 % bis 100,0 % unterstellt 20,0 %
Luftaustauschrate	4,8 l/h	Bereich 0,0 l/h bis 99,9 l/h unterstellt vollständiger Luftaustausch nach 12,5 Minuten ¹⁸
Mittlere Reisedauer	1,0 h	Bereich 0,1 h bis 99,9 h unterstellt ist eine maximale Reisezeit im Nahverkehr

Tabelle 3.1: Übersicht verwendeter Parameter

¹⁶ vgl. Lelieveld, Jos, et al., 2020

¹⁷ vgl. Max-Planck-Institut für Chemie, COVID 19 Aerosol Transmission Risk Calculator, 2021

¹⁸ gängiger Wert bei modernen Klimaanlage im ÖPNV/SPNV

Die Eigenschaft des Virus und die Eigenschaften des Aerosols sind mit den vom Max-Planck-Institut für Chemie herausgegebenen Standard-Parameter angesetzt worden¹⁹.

Parameter	Wert	Anmerkung
Atemzeitvolumen	10,0 l/min	Bereich 7,5 l/min bis 15,0 l/min unterstellt durchschnittlicher Erwachsener
Durchmesser Aerosol	5,0 μm	
Partikelaustritt Atmen	$0,06 \times 1/\text{cm}^3$	
Partikelaustritt Sprechen	$0,6 \times 1/\text{cm}^3$	
Abscheideeffizienz Lunge	0,5	
Visus RNA Konzentration in Flüssigkeit	$5 \times 10^8 / \text{ml}$ ²⁰	Bereich $1 \times 10^8 / \text{ml}$ bis $1 \times 10^{11} / \text{ml}$
Virusüberlebenszeit in Luft	1,7 h	

Tabelle 3.2: Übersicht Standard-Parameter Max-Planck-Institut für Chemie

Die statistische Wahrscheinlichkeit der Ansteckung einer einzelnen Person²¹ durch Aerosole in einem Wagenkasten, wird in diesem Konzeptpapier mit AW_{WK_n} angegeben. Dabei erfolgt die eigentliche Berechnung der einzelnen Risiken je Wagenkasten (WK_n) als Teilsystem, auf Grundlage des Raumvolumens²², ermittelt aus den Formeln 3.1-1 und 3.1-2, sowie der Anzahl der vorhandenen Sitzplätze, ermittelt aus der Formel 3.1-3²³. Für die weitere Berechnung wird der betrachtete Wagenkasten des Fahrzeugs modellhaft dargestellt. Das dazu notwendige Raumvolumen sowie das dort vorhandene Platzangebot ($Pl_{T_{\text{sysn}}}$) ist dabei unter dem Einfluss benachbarter Wagenkästen zu ermittelt²⁴. Mit weiteren Parametern, wie beispielsweise der Lautstärke durch Sprechen, der Maskeneffizienz, der Luftaustauschrate²⁵ oder der mittleren Reiseweite²⁶, kann die individuelle Situation weiter modelliert und so die Wahrscheinlichkeit

¹⁹ vgl. Max-Planck-Institut für Chemie, COVID 19 Aerosol Transmission Risk Calculator, 2021

²⁰ die angegebene virale RNA-Konzentration von etwa $5 \times 10^8 / \text{ml}$ stellt die Kategorie hochinfektöser Patienten dar und repräsentiert ungefähr 20,0 % der positiv auf SARS-CoV-2 getesteten Personen

²¹ unabhängig von der Anzahl der Reisenden insgesamt im betrachteten Fahrgastraum

²² ein Teilsystem entspricht den Bereich eines Wagenkastens inklusive Einfluss benachbarter Wagenkästen

²³ vgl. Kapitel 3.1

²⁴ vgl. Kapitel 3.1

²⁵ z.B. durch Klimaanlage

²⁶ gemessen in Stunden [h]

einer Ansteckung im jeweiligen Wagenkasten (AW_{WK_n}) für eine einzelne Person bestimmt werden. Nachdem dies erfolgt ist, wird im nächsten Schritt der maximal mögliche Besetzungsgrad je Fahrzeugteil derart ermittelt, dass es für definierte Fälle statistisch zu keiner Ansteckung kommen kann.

3.3 Justierung des Besetzungsgrads je Wagenkasten

Für die Herleitung eines optimalen Besetzungsgrads im Fahrgastraum, wird zunächst auf Grundlage der bekannten Ansteckungswahrscheinlichkeit einer einzelnen Person (AW_{WK_n})²⁷, die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung in Abhängigkeit der Anzahl der im Wagenkasten (WK_n) befindlichen Reisenden ermittelt und als mathematische Funktion dargestellt ($AW_{(\#R)}$)²⁸. Aus dieser Funktion lässt sich die Anzahl der statistisch-möglichen, durch Aerosole infizierte Personen, in Abhängigkeit der Anzahl der Reisenden, rechnerisch ableiten und ebenfalls als mathematische Funktion darstellen ($\#Rinfi_{(\#R)}$). So entsteht eine Modellrechnung, welche die Situation im Fahrgastraum abbildet und über zahlreiche Parameter modellierbar bleibt.

Für den Fall, dass beispielsweise der Zustieg eines infizierten Fahrgastes, statistisch zu keiner weiteren Ansteckung durch Aerosole im betrachteten Fahrgastraum führen soll, muss demnach die Anzahl der statistisch-möglichen Ansteckungen in Abhängigkeit der im Wagenkasten befindlichen Reisenden ($\#Rinfi_{(\#R)}$) zwingend unter einem Wert von 1,0 bleiben. Dieser Wert stellt für diesen Fall die Risiko-Grenze dar. Daraus ergibt sich schließlich die maximal statistisch-mögliche Anzahl an Fahrgästen ($\#R_{max}$) für einen einzelnen Wagenkasten (WK_n).

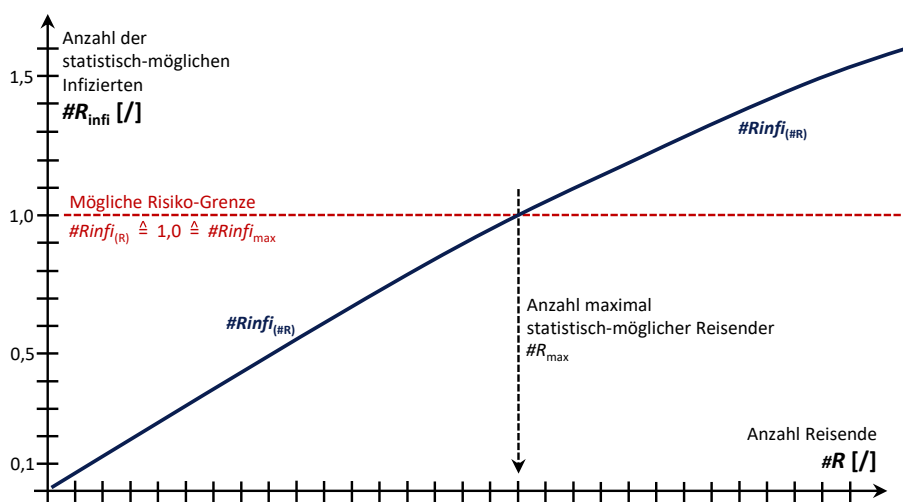


Abbildung 3.2: Ermittlung der maximal möglichen Anzahl Reisender

²⁷ vgl. Kapitel 3.2

²⁸ vgl. Lelieveld, Jos, et al., 2020

Abschließend wird die so hergeleitete maximal statistisch-mögliche Anzahl an Fahrgästen ($\#R_{\max}$) mit den vorhandenen Plätzen im Fahrgastraum in ein Verhältnis gesetzt, was dann einem maximal gewünschten Besetzungsgrad je Wagenkasten entspricht (BG_{\max}). Besteht die technische Möglichkeit die aktuell im Fahrzeug befindliche Anzahl der Fahrgäste ($\#R_{\text{IST}}$) zu erheben, so kann die maximal statistisch-mögliche Anzahl an Reisenden ($\#R_{\max}$) in ein Verhältnis mit eben dieser aktuellen Anzahl an Fahrgästen ($\#R_{\text{IST}}$) im Fahrzeug gesetzt werden. Schlussendlich wird damit der aktuell vorhandene Besetzungsgrad (BG_{IST}) je Fahrzeugteil dargestellt, wobei in diesem Fall eine Besetzung von 100 % statistisch zu keiner weiteren Ansteckung führt. Ebenfalls ist es mit den hier vorliegenden Ansätzen möglich die Auswirkungen besonderer Ereignisse zu simulieren. Beispielsweise kann durch Veränderung des Parameters zur Luftaustauschrate der Ausfall einer Klimaanlage valide nachgestellt werden.

4 Bündelung der Ansätze in einen Algorithmus

Heutzutage wird ein Algorithmus im Gabler Wirtschaftslexikon als „eine präzise, d.h. in einer festgelegten Sprache abgefasste, endliche Beschreibung eines allgemeinen Verfahrens unter Verwendung elementarer Verarbeitungsschritte zur Lösung einer gegebenen Aufgabe“²⁹ bezeichnet. „Algorithmen finden dabei in unterschiedlichsten Bereichen moderner, wissenschaftlicher und industrialisierter Wirkungskreise Anwendung. Beispiele reichen von der Automatisierungstechnik, über die naturwissenschaftliche Forschung bis hin zu Verschlüsselungstechnologien in der Datenverarbeitung.“³⁰ An dieser Stelle wird nun ein Algorithmus zur Herleitung von optimalen Besetzungsgraden unter Berücksichtigung von Ansteckungsrisiken durch Aerosole beschrieben. Dabei werden die in den vorherigen Kapiteln erläuterten Verfahren in einer systematischen Darstellung zusammengefasst³¹ und schrittweise dargelegt.

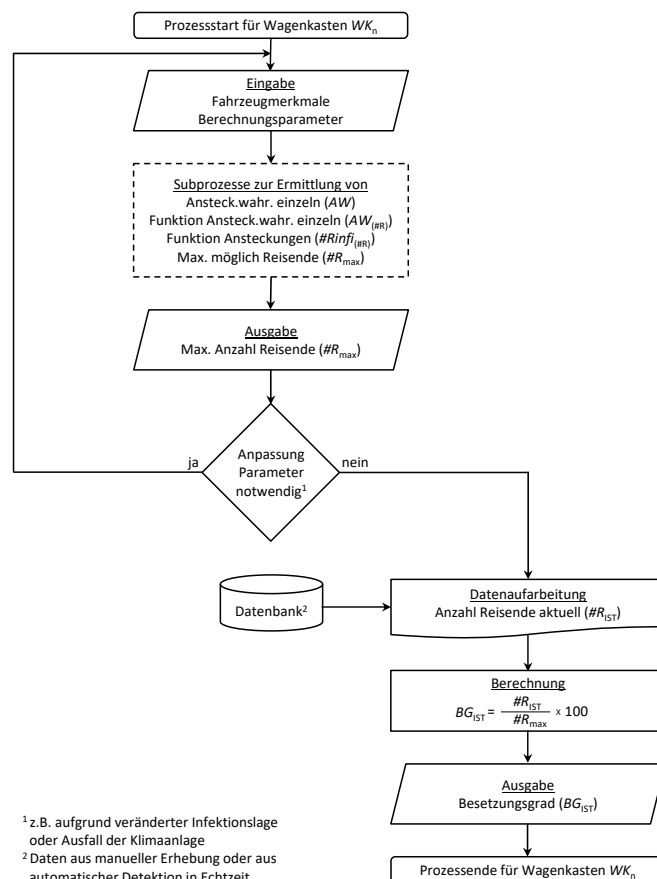


Abbildung 4.1: Algorithmus zur Ermittlung optimaler Besetzungsgrade

²⁹ Gabler Wirtschaftslexikon, Algorithmus, 2021

³⁰ Heinrich, Ingo, 2014

³¹ Darstellungsform abgeleitet aus DIN 66001, 1983

Zur Voraussetzung der Berechnungen werden die Fahrzeugparameter für den Fahrgastinnenraum sowie Parameter zur Abbildung der Infektionssituation, wie beispielsweise die Maskeneffizienz, den Redeanteil der Fahrgäste oder die wichtige Luftaustauschrate, benötigt. Danach erfolgt, über die Wahrscheinlichkeit der Ansteckung einer einzelnen Person (AW_{WK_n}) und der daraus abgeleiteten mathematischen Funktion zur Darstellung der Anzahl potenzieller Infizierungen in Abhängigkeit der Anzahl der Reisenden ($\#R_{inf}(\#R)$), die Herleitung der maximal statistisch-mögliche Anzahl an Fahrgästen ($\#R_{max}$) für einen einzelnen Wagenkasten. Neue Rahmenbedingungen, wie der Ausfall einer Klimaanlage oder veränderte Ansteckungsraten, sind durch Anpassungen der entsprechende Parameter darstellbar.

Bestehen die technischen Möglichkeiten die gegenwärtige Besetzung der einzelnen Fahrzeugteile als Ist-Daten zu erheben, kann der aktuelle Besetzungsgrad in Abhängigkeit der vorhanden Infektionsrisiken derart ausgegeben werden, dass es bis zu einer Besetzung von 100 % statistisch zu keiner Ansteckung kommt.

5 Exemplarische Betrachtung

In den folgenden Kapiteln wird die hergeleitete Methode³² zum Umgang mit den Ansteckungsrisiken durch Aerosole in den einzelnen Wagenkästen von Bussen und Bahnen auf den Untersuchungsgegenstand³³ angewendet. Die hier vorliegenden Modellrechnungen schafft ein optimales Auspendeln zwischen der maximal möglichen Anzahl Reisender je Wagenkasten und dem statistischen Risiko einer Infizierung mit COVID-19. Für den Fall, dass sich bereits eine infizierte Person im Wagenkasten befindet, soll es statistisch zu keiner weiteren Ansteckung kommen. Dazu wird in mehreren Iterationsschritten die Besetzung je Wagenkasten so angepasst³⁴, dass die Anzahl der weiteren Ansteckungen unter 1,0³⁵ bleibt. Damit soll statistisch davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Infektion eines weiteren Fahrgastes kommt, wenn sich bereits eine infizierte Person im Wagenkasten befindet.

5.1 Fahrzeuge im Schienenpersonennahverkehr

Die hier betrachteten Fahrzeuge unterteilen sich in zwei Untergruppen³⁶. Die Gruppe der Fahrzeuge für den Schienenpersonennahverkehr wurde so zusammengestellt, dass unterschiedliche Traktionsarten und Einsatzgebiete Berücksichtigung finden. Um möglichst vielschichtige Rahmenbedingungen abzubilden variiert außerdem die Anzahl der Wagenkästen.



Abbildung 5.1: Regionalexpress mit Doppelstockwagen

³² vgl. Kapitel 3

³³ vgl. Kapitel 2

³⁴ vgl. Kapitel 3 und Kapitel 4

³⁵ was einer Basisreproduktionszahl R_0 von 1,0 im betrachteten Teilsystem entspricht

³⁶ vgl. Kapitel 2

5.1.1 Verbrennungstriebwagen LINT

Der Verbrennungstriebwagen des Typs LINT des Hersteller Alstom ist ein bundesweit stark verbreitetes Eisenbahnfahrzeug. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt im westfälischen Sauerland im Regionalverkehr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)³⁷ und Anzahl der Sitzplätze, sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	17,50 m	17,50 m	---	---	---
Wagenkastenbreite ³⁸ (Fahrgastraum)	2,75 m	2,75 m	---	---	---
Wagenkastenhöhe ³⁹ (Fahrgastraum)	2,38 m	2,75 m	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁴⁰	30,00 %	30,00 %	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	67 Pl.	62 Pl.	---	---	---

Tabelle 5.1: Merkmale Verbrennungstriebwagen LINT

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

³⁷ WK = Wagenkasten

³⁸ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

³⁹ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁴⁰ Ü-Faktor

Verbrennungstriebwagen LINT

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

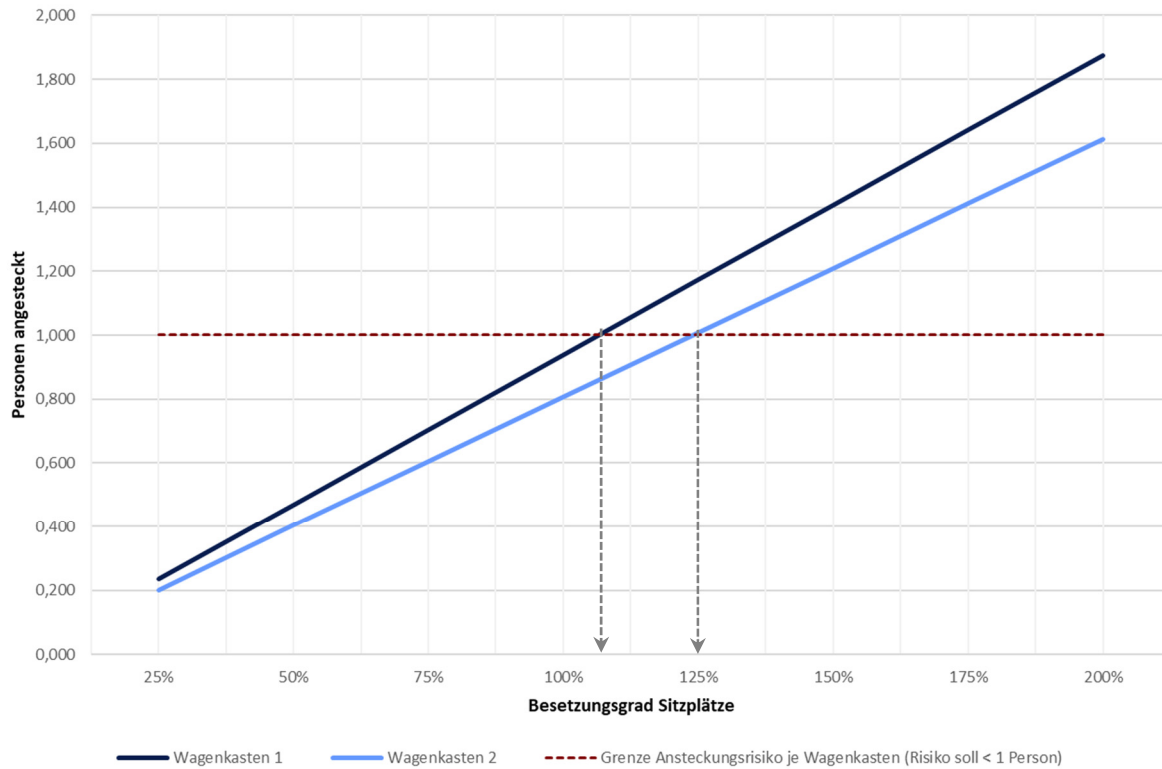


Abbildung 5.2: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,018%	1,400%	0,938	106,5%	71,4
Wagenkasten 2	0,012%	1,300%	0,806	124,0%	76,9

Tabelle 5.2: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen LINT

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

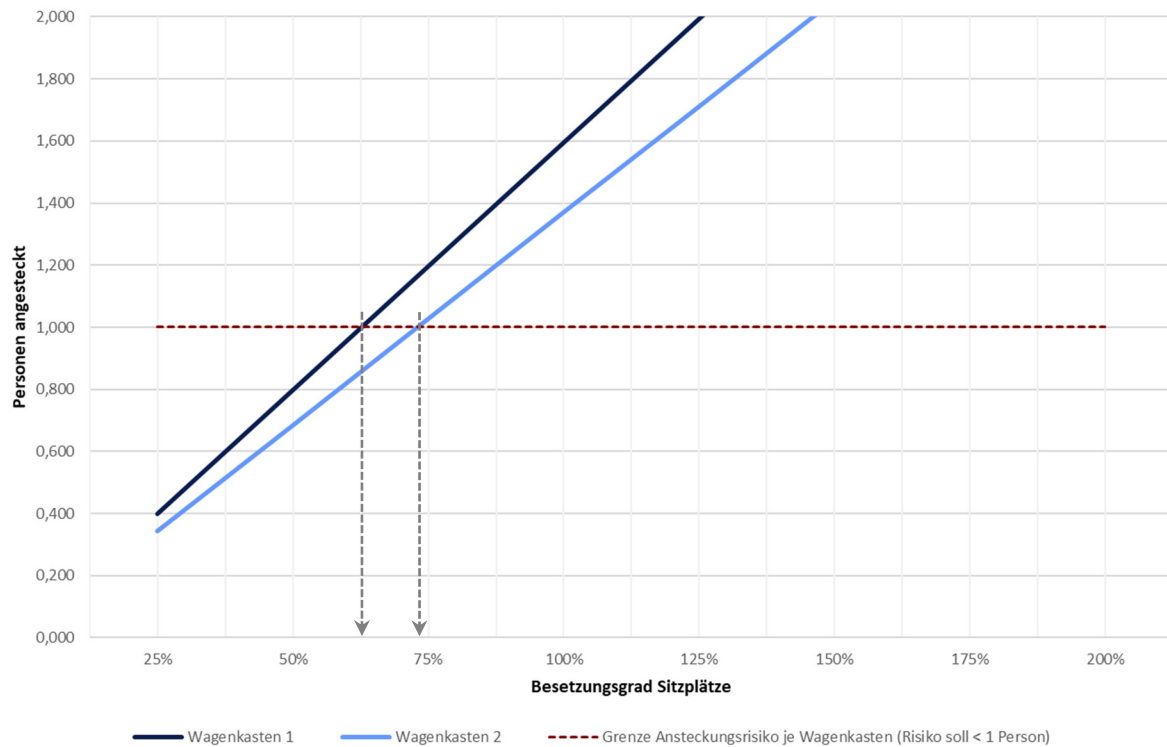


Abbildung 5.3: Ergebnis LINT für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,031%	2,380%	1,595	62,7%	42,0
Wagenkasten 2	0,020%	2,210%	1,370	73,0%	45,3

Tabelle 5.3: Ergebnis LINT für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen LINT

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

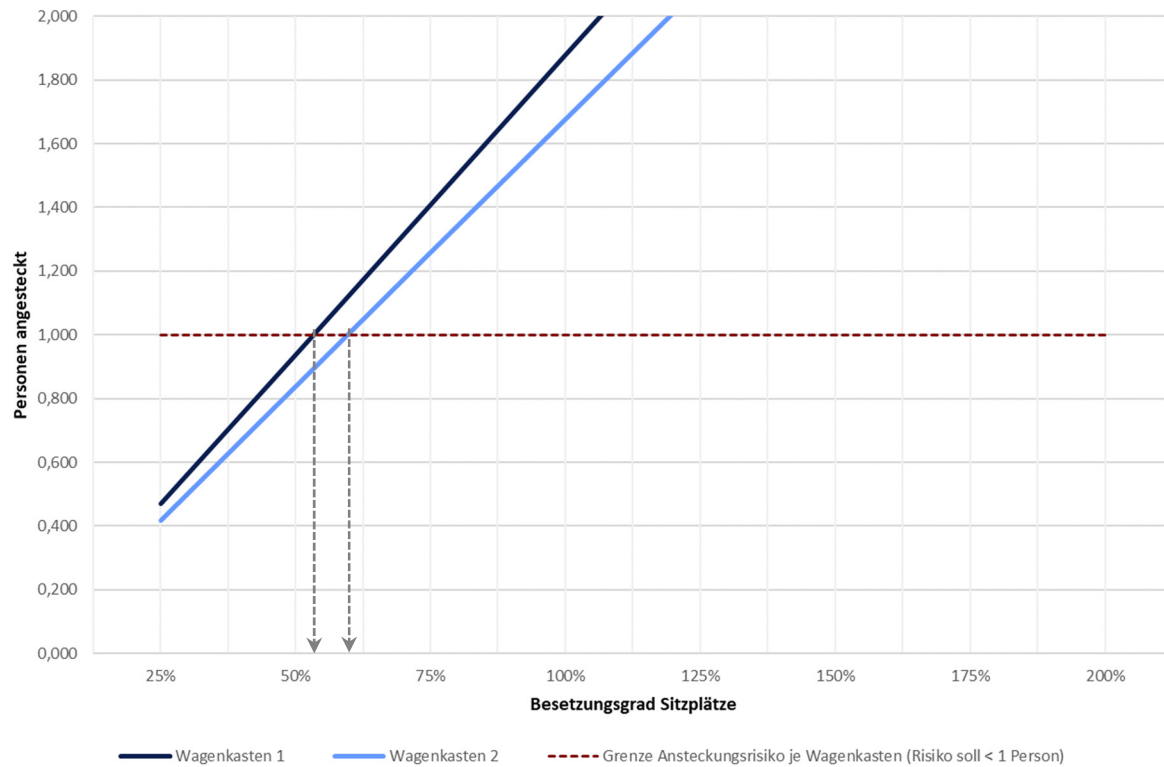


Abbildung 5.4: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,038%	2,800%	1,876	53,3%	35,7
Wagenkasten 2	0,038%	2,700%	1,674	59,7%	37,0

Tabelle 5.4: Ergebnis LINT für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen LINT

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

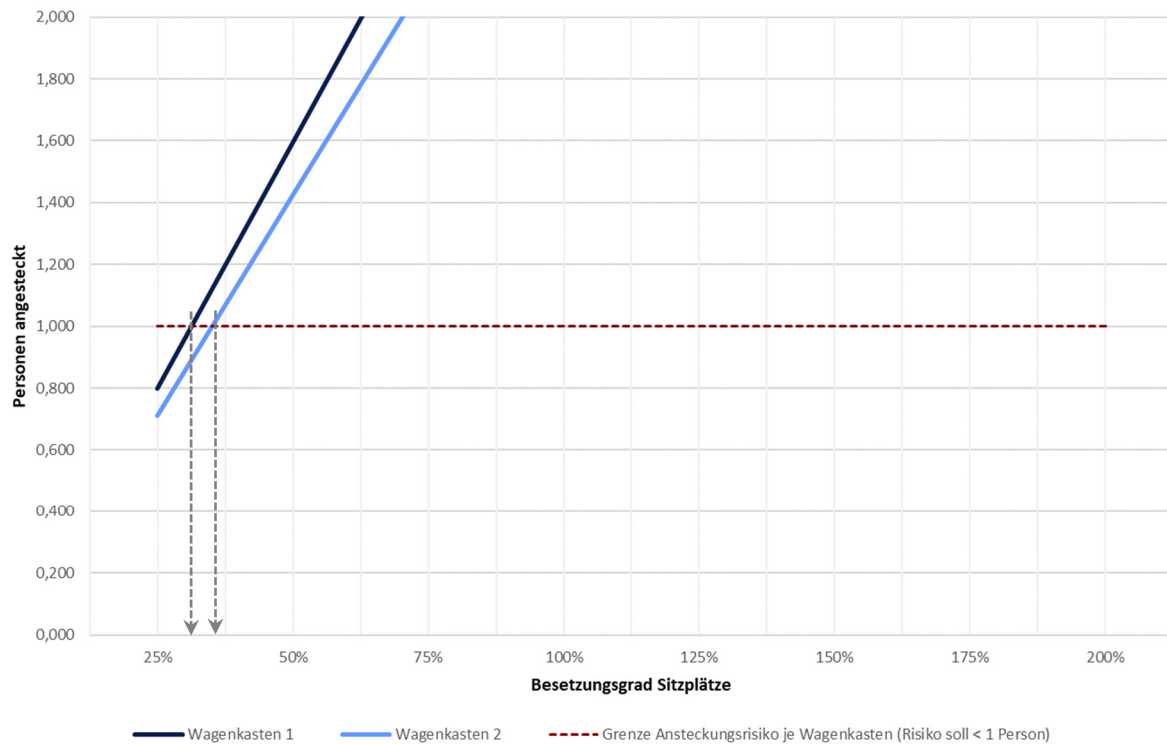


Abbildung 5.5: Ergebnis LINT für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,065%	4,760%	3,189	31,3%	21,0
Wagenkasten 2	0,065%	4,590%	2,846	35,1%	21,8

Tabelle 5.5: Ergebnis LINT für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.1.2 Verbrennungstriebwagen Talent 1

Der Verbrennungstriebwagen des Typs Talent 1 des Hersteller Bombardier ist ein überwiegend in Nordrhein-Westfalen verbreitetes Eisenbahnfahrzeug. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt im Regionalverkehr im Münsterland. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁴¹ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.6 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	13,67 m	13,75 m	13,67 m	---	---
Wagenkastenbreite ⁴² (Fahrgastraum)	2,93 m	2,93 m	2,93 m	---	---
Wagenkastenhöhe ⁴³ (Fahrgastraum)	2,23 m	2,23 m	2,23 m	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁴⁴	40,00 %	40,00 %	40,00 m	---	---
Anzahl Sitzplätze	47 Pl.	48 Pl.	34 Pl.	---	---

Tabelle 5.6: Merkmale Verbrennungstriebwagen Talent 1

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁴¹ WK = Wagenkasten

⁴² mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁴³ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁴⁴ Ü-Faktor

Verbrennungstriebwagen Talent 1

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

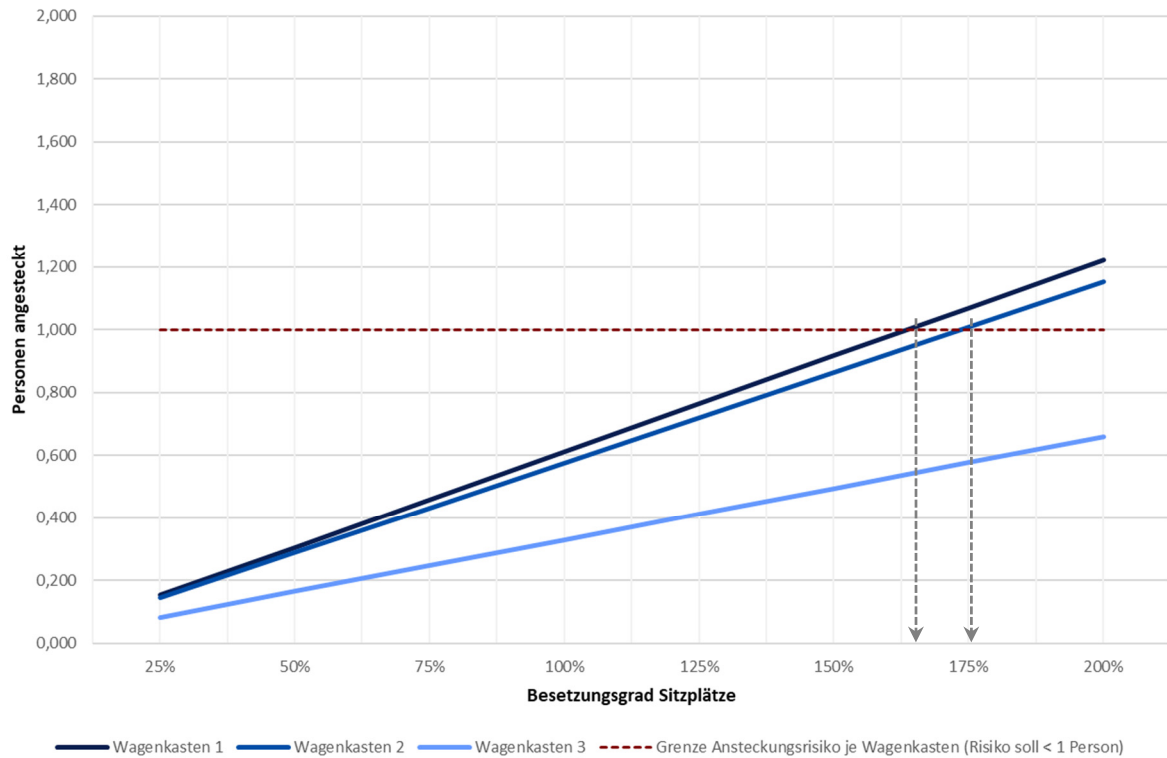


Abbildung 5.6: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,023%	1,300%	0,611	163,5%	76,8
Wagenkasten 2	0,019%	1,200%	0,576	173,5%	83,3
Wagenkasten 3	0,023%	0,970%	0,330	303,0%	103,0

Tabelle 5.7: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen Talent 1

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

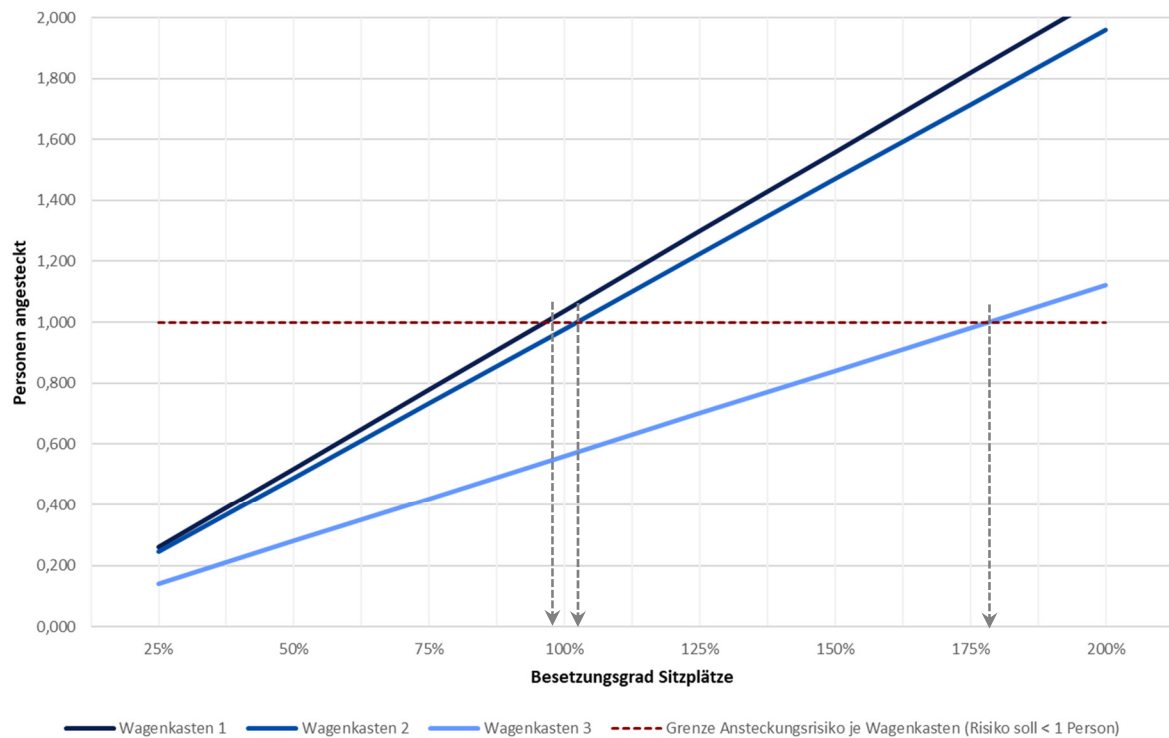


Abbildung 5.7: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,039%	2,210%	1,039	96,3%	45,3
Wagenkasten 2	0,032%	2,040%	0,979	102,0%	49,0
Wagenkasten 3	0,039%	1,649%	0,561	178,0%	60,5

Tabelle 5.8: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen Talent 1

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

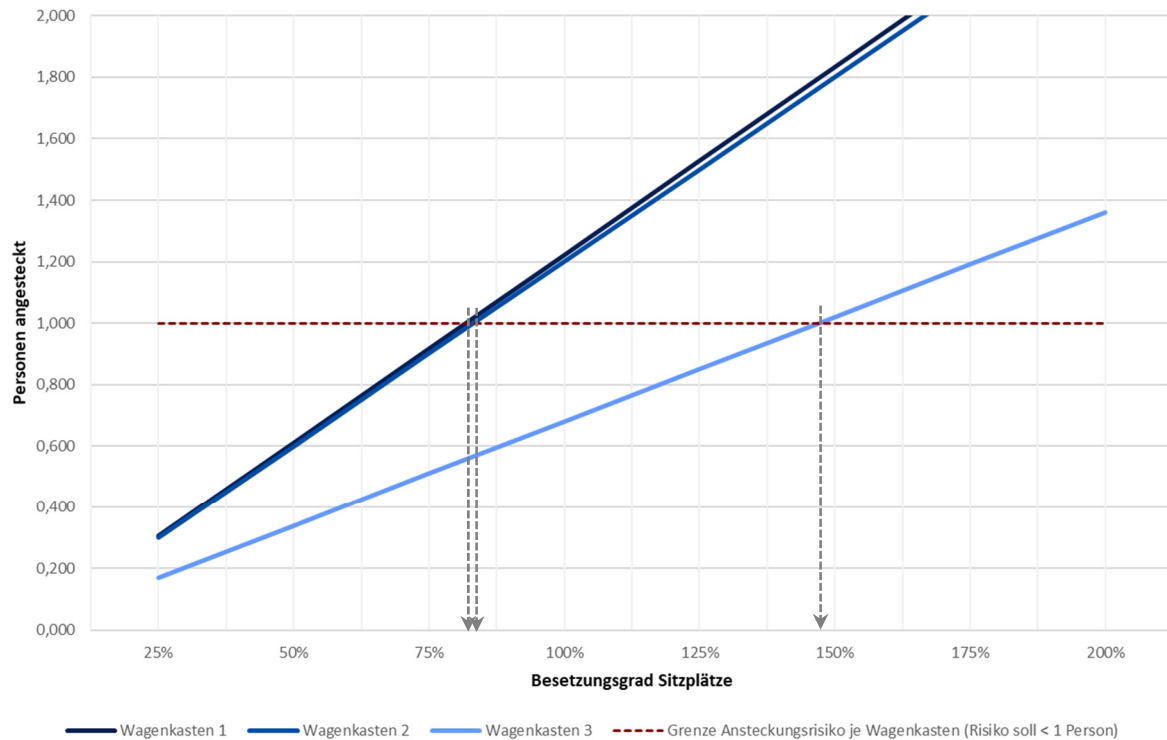


Abbildung 5.8: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,048%	2,600%	1,222	81,8%	38,4
Wagenkasten 2	0,400%	2,500%	1,200	83,3%	40,0
Wagenkasten 3	0,048%	2,000%	0,680	147,0%	50,0

Tabelle 5.9: Ergebnis Talent 1 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Verbrennungstriebwagen Talent 1

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

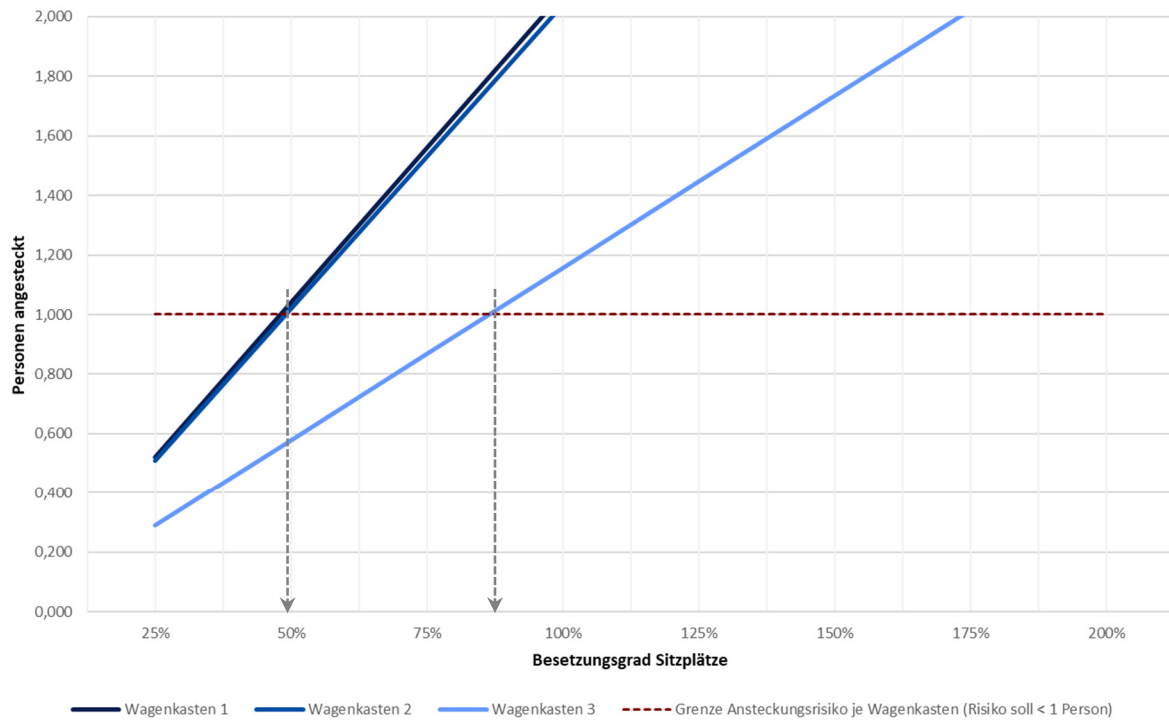


Abbildung 5.9: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,082%	4,420%	2,077	48,1%	22,6
Wagenkasten 2	0,680%	4,250%	2,040	49,0%	23,5
Wagenkasten 3	0,082%	3,400%	1,156	86,5%	29,4

Tabelle 5.10: Ergebnis Talent 1 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.1.3 Elektrotriebwagen FLIRT 3

Der Elektrotriebwagen des Typs FLIRT 3 des Hersteller Stadler ist ein bundesweit stark verbreitetes Eisenbahnfahrzeug. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt im nördlichen Westfalen und Niedersachsen im Regional- und Expressverkehr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁴⁵ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.11 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	16,00 m	16,10 m	16,10 m	16,00 m	---
Wagenkastenbreite ⁴⁶ (Fahrgastraum)	2,88 m	2,88 m	2,88 m	2,88 m	---
Wagenkastenhöhe ⁴⁷ (Fahrgastraum)	2,30 m	2,30 m	2,30 m	2,30 m	---
Überschneidung Wagenkästen ⁴⁸	40,00 %	40,00 %	40,00 %	40,00 %	---
Anzahl Sitzplätze	60 Pl.	54 Pl.	54 Pl.	60 Pl.	---

Tabelle 5.11: Merkmale FLIRT 3

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁴⁵ WK = Wagenkasten

⁴⁶ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁴⁷ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁴⁸ Ü-Faktor

Elektrotriebwagen FLIRT 3

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

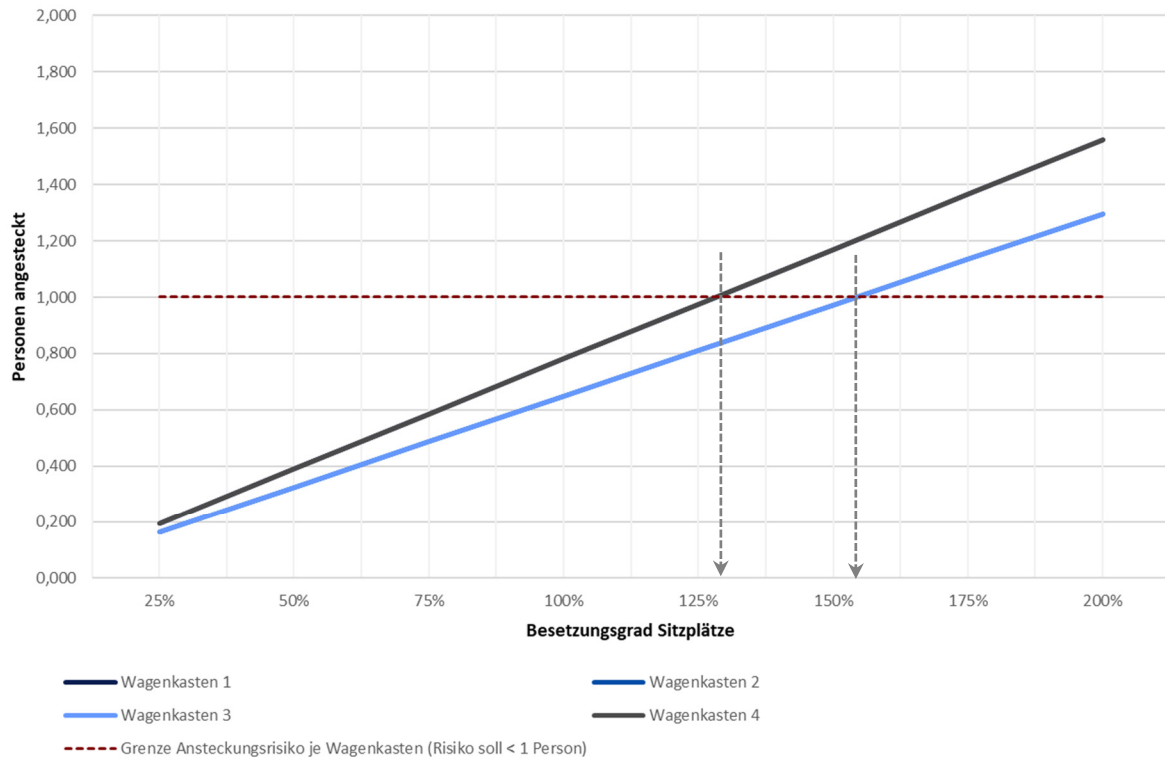


Abbildung 5.10: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,019%	1,300%	0,780	128,2%	76,9
Wagenkasten 2	0,016%	1,200%	0,648	154,3%	83,3
Wagenkasten 3	0,016%	1,200%	0,648	154,3%	83,3
Wagenkasten 4	0,019%	1,300%	0,780	128,2%	76,9

Tabelle 5.12: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Elektrotriebwagen FLIRT 3

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

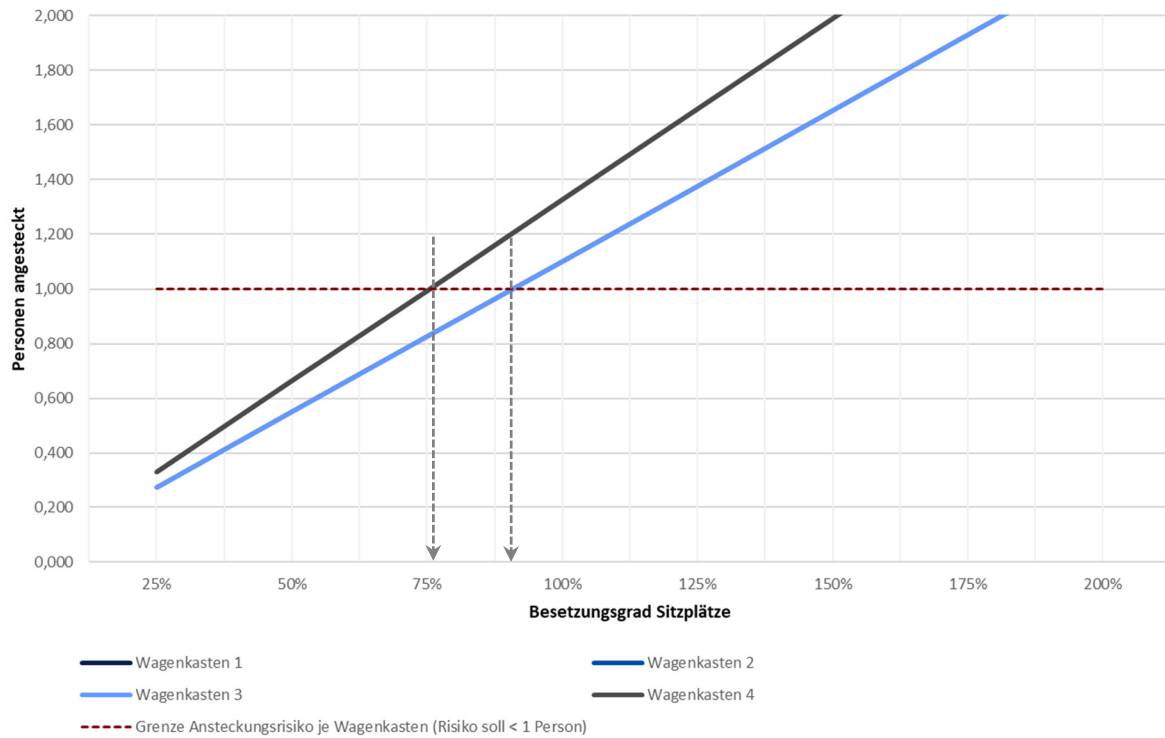


Abbildung 5.11: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,032%	2,210%	0,476	75,4%	45,2
Wagenkasten 2	0,027%	2,040%	0,471	90,7%	49,0
Wagenkasten 3	0,027%	2,040%	0,471	90,7%	49,0
Wagenkasten 4	0,032%	2,210%	0,476	75,4%	45,2

Tabelle 5.13: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Elektrotriebwagen FLIRT 3

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

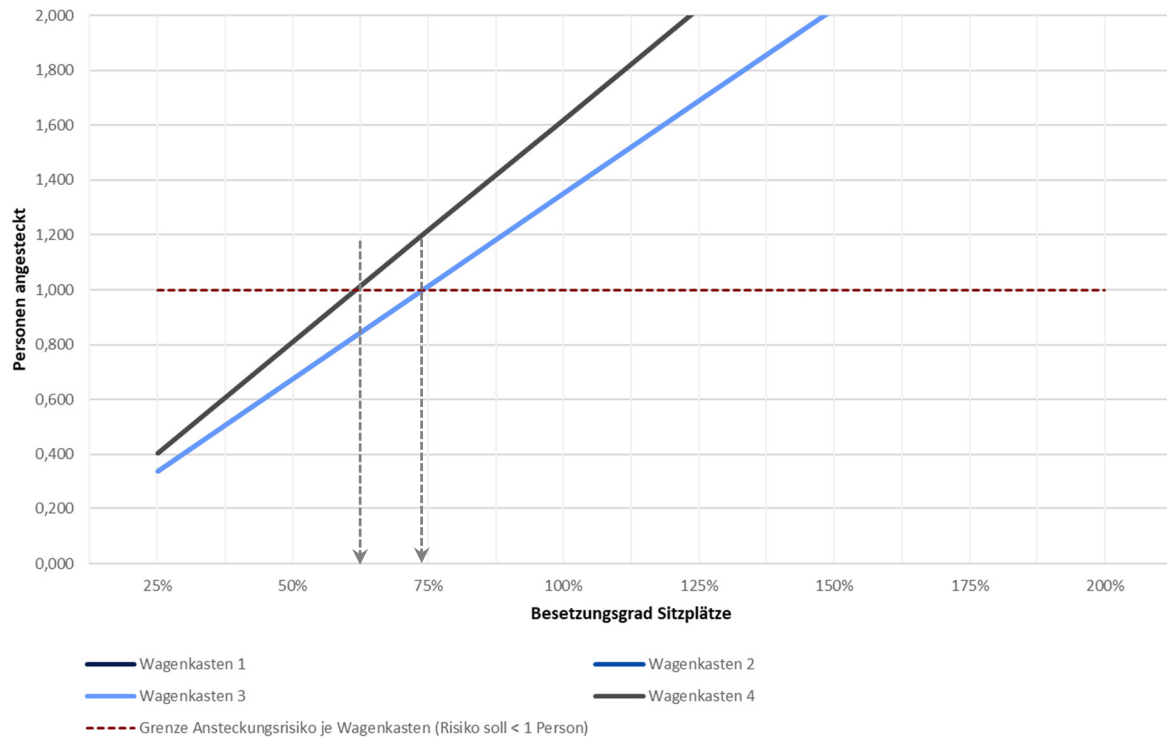


Abbildung 5.12: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,040%	2,700%	1,620	61,7%	37,0
Wagenkasten 2	0,034%	2,500%	1,350	74,1%	40,0
Wagenkasten 3	0,034%	2,500%	1,350	74,1%	40,0
Wagenkasten 4	0,040%	2,700%	1,620	61,7%	37,0

Tabelle 5.14: Ergebnis FLIRT 3 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Elektrotriebwagen FLIRT 3

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

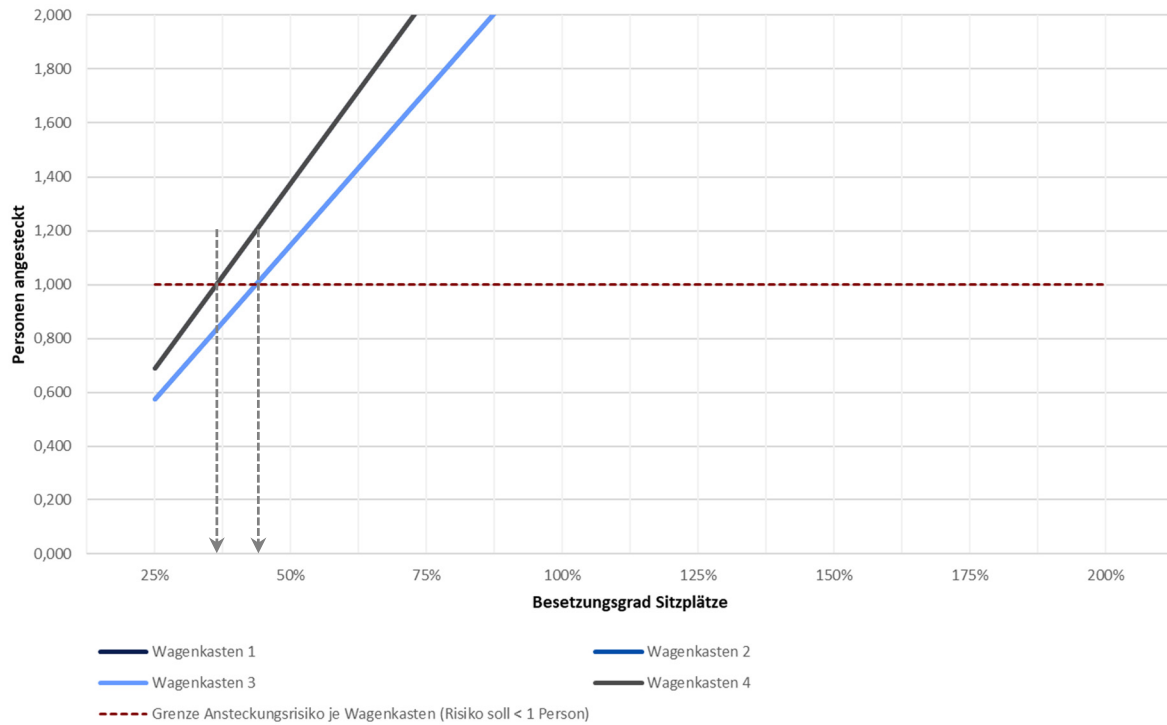


Abbildung 5.13: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,068%	4,590%	0,989	36,3%	21,8
Wagenkasten 2	0,058%	4,250%	0,982	43,5%	23,5
Wagenkasten 3	0,058%	4,250%	0,982	43,5%	23,5
Wagenkasten 4	0,068%	4,590%	0,989	36,3%	21,8

Tabelle 5.15: Ergebnis FLIRT 3 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.1.4 Elektrotriebwagen Talent 2

Der Elektrotriebwagen des Typs Talent 2 des Hersteller Bombardier ist ein bundesweit verbreitetes Eisenbahnfahrzeug. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt auf der Relation Aachen – Köln – Siegen im Expressverkehr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁴⁹ und Anzahl der Sitzplätze, sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	16,00 m	16,10 m	16,10 m	16,10 m	16,10 m
Wagenkastenbreite ⁵⁰ (Fahrgastraum)	2,93 m	2,93 m	2,93 m	2,93 m	2,93 m
Wagenkastenhöhe ⁵¹ (Fahrgastraum)	2,31 m	2,31 m	2,31 m	2,31 m	2,31 m
Überschneidung Wagenkästen ⁵²	40,00 %	40,00 %	40,00 %	40,00 %	40,00 %
Anzahl Sitzplätze	57 Pl.	68 Pl.	48 Pl.	67 Pl.	60 Pl.

Tabelle 5.16: Merkmale Talent 2

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁴⁹ WK = Wagenkasten

⁵⁰ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁵¹ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁵² Ü-Faktor

Elektrotriebwagen Talent 2

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

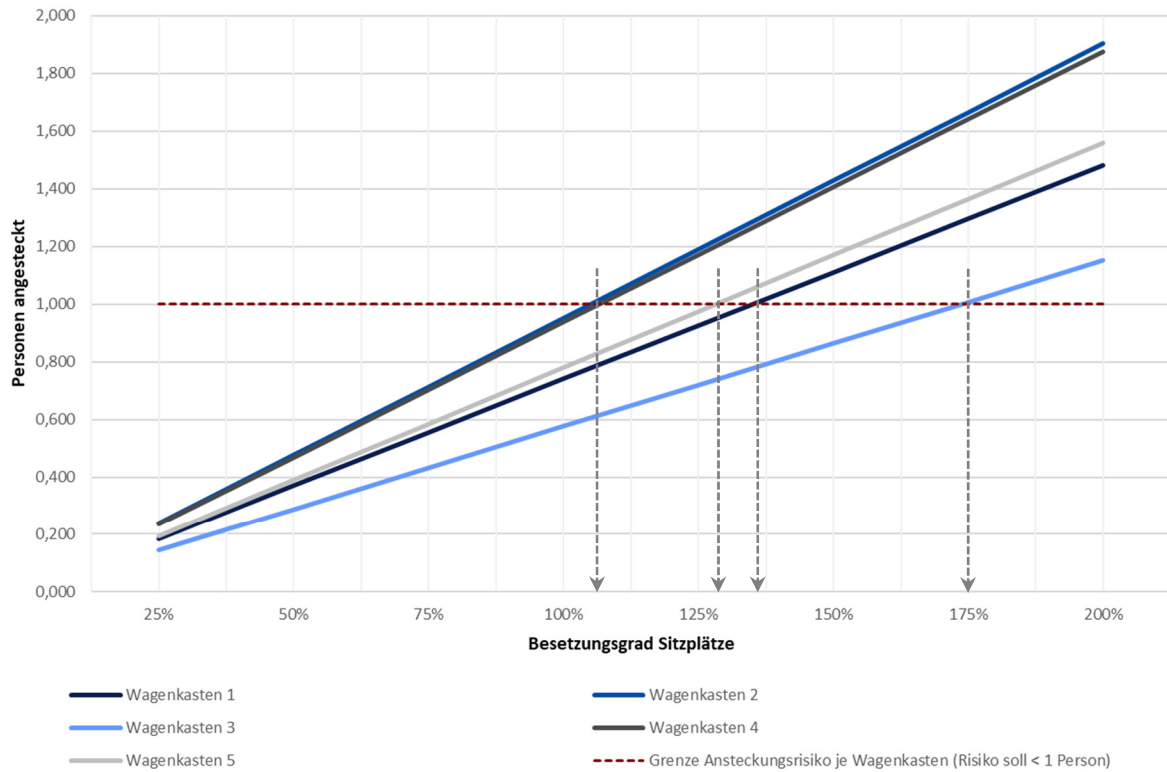


Abbildung 5.14: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,019%	1,300%	0,741	135,0%	77,0
Wagenkasten 2	0,016%	1,400%	0,952	105,0%	71,4
Wagenkasten 3	0,016%	1,200%	0,576	173,6%	83,3
Wagenkasten 4	0,016%	1,400%	0,938	106,6%	71,4
Wagenkasten 5	0,019%	1,300%	0,780	128,2%	76,9

Tabelle 5.17: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Elektrotriebwagen Talent 2

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

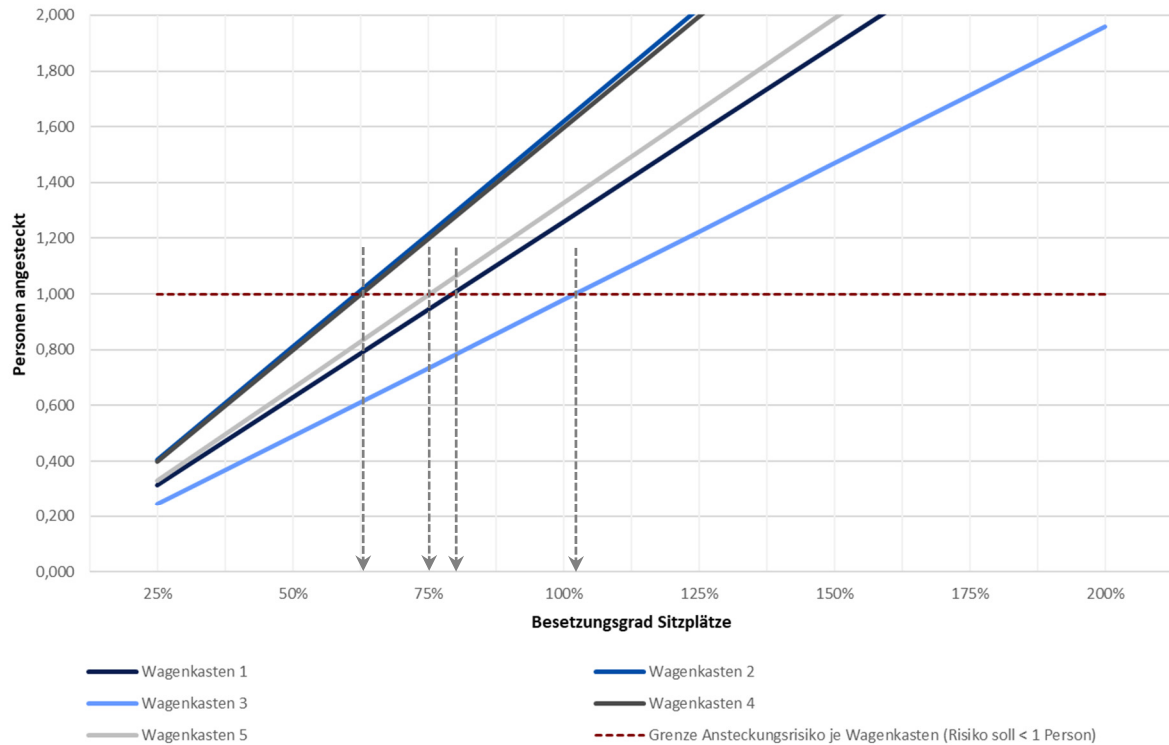


Abbildung 5.15: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,032%	2,210%	1,260	79,4%	45,3
Wagenkasten 2	0,027%	2,380%	1,618	61,7%	42,0
Wagenkasten 3	0,027%	2,040%	0,979	102,1%	49,0
Wagenkasten 4	0,027%	2,380%	1,595	62,7%	42,0
Wagenkasten 5	0,032%	2,210%	1,326	75,4%	45,2

Tabelle 5.18: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Elektrotriebwagen Talent 2

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

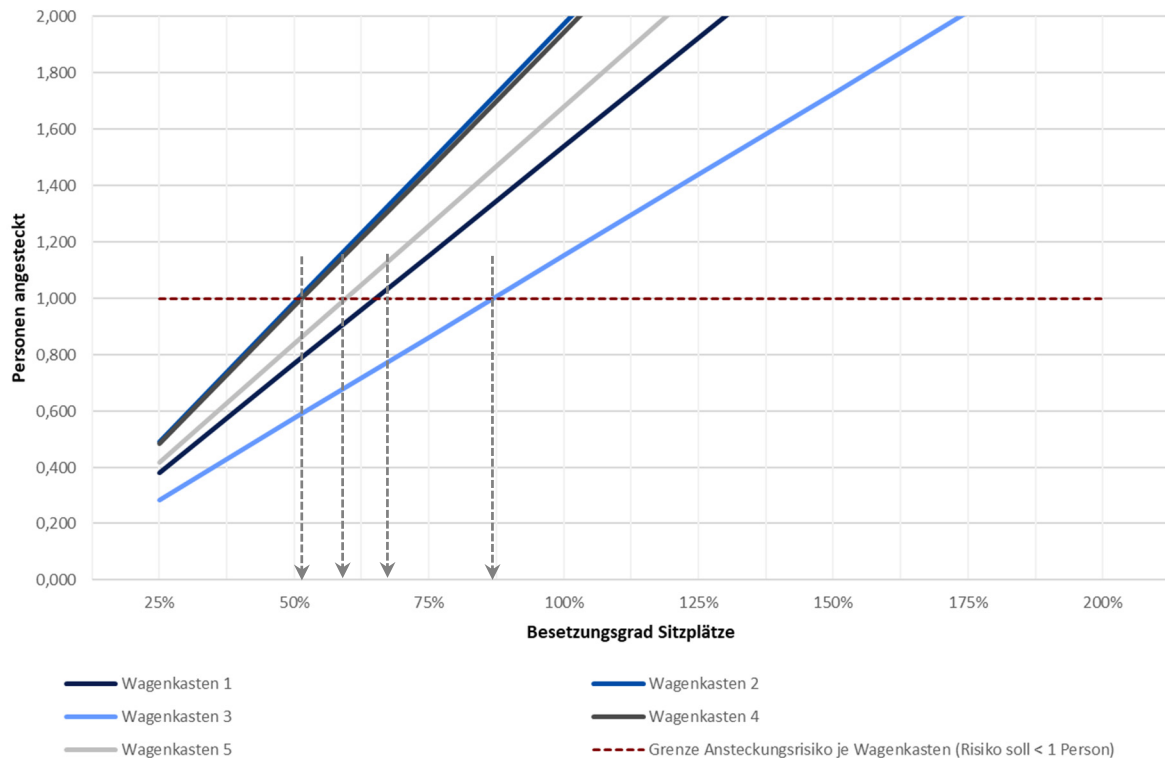


Abbildung 5.16: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,039%	2,700%	1,539	65,0%	37,1
Wagenkasten 2	0,033%	2,900%	1,972	50,7%	34,5
Wagenkasten 3	0,033%	2,400%	1,152	86,8%	41,7
Wagenkasten 4	0,033%	2,900%	1,943	51,4%	34,4
Wagenkasten 5	0,039%	2,800%	1,680	59,5%	35,7

Tabelle 5.19: Ergebnis Talent 2 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Elektrotriebwagen Talent 2

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

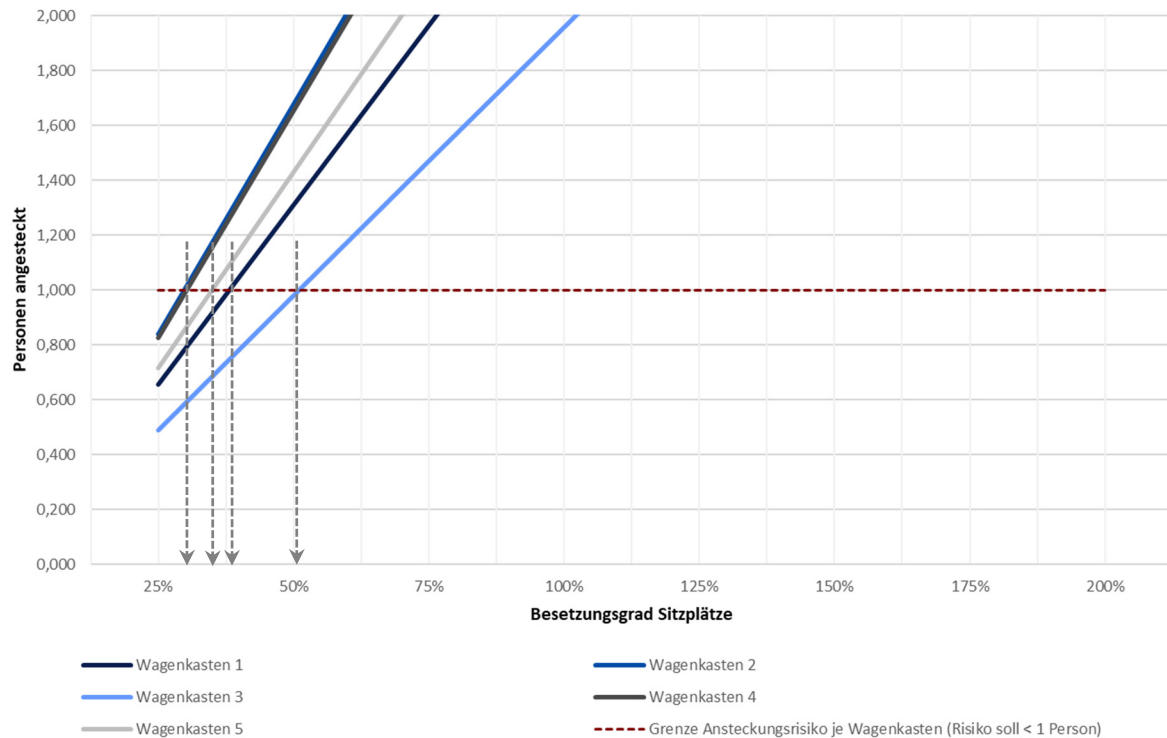


Abbildung 5.17: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,066%	4,590%	2,616	38,2%	21,8
Wagenkasten 2	0,056%	4,930%	3,352	29,8%	20,3
Wagenkasten 3	0,056%	4,080%	1,958	51,0%	24,5
Wagenkasten 4	0,056%	4,930%	3,303	30,2%	20,2
Wagenkasten 5	0,066%	4,760%	2,856	75,4%	45,2

Tabelle 5.20: Ergebnis Talent 2 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.1.5 Doppelstockreisezugwagen

Der Doppelstockreisezugwagen des Typs DAB 780.4 vom Hersteller Bombardier ist ein sehr weit verbreitetes Modell zahlreicher Typ-Varianten von Doppelstockwagen in der gesamten Bundesrepublik. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt im NRW-weiten Expressverkehr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁵³ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.21 zu entnehmen. Der Wagenkasten 1 entspricht dem Oberdeck und der Wagenkasten 2 dem Unterdeck des Reisezugwagens.

Merkm ^{al}	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	15,40 m	19,60 m ⁵⁴	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁵⁵ (Fahrgastraum)	2,78 m	2,78 m	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁵⁶ (Fahrgastraum)	2,10 m	2,10 m	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁵⁷	0,00 %	0,00 %	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	70 Pl.	73 Pl.	---	---	---

Tabelle 5.21: Merkmale DoSto-Wagen

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁵³ WK = Wagenkasten

⁵⁴ Flächen und Sitzplätze an den Wagenübergängen sind dem Unterdeck (WK 1) zugeordnet

⁵⁵ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁵⁶ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁵⁷ Ü-Faktor

Doppelstockreisezugwagen

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

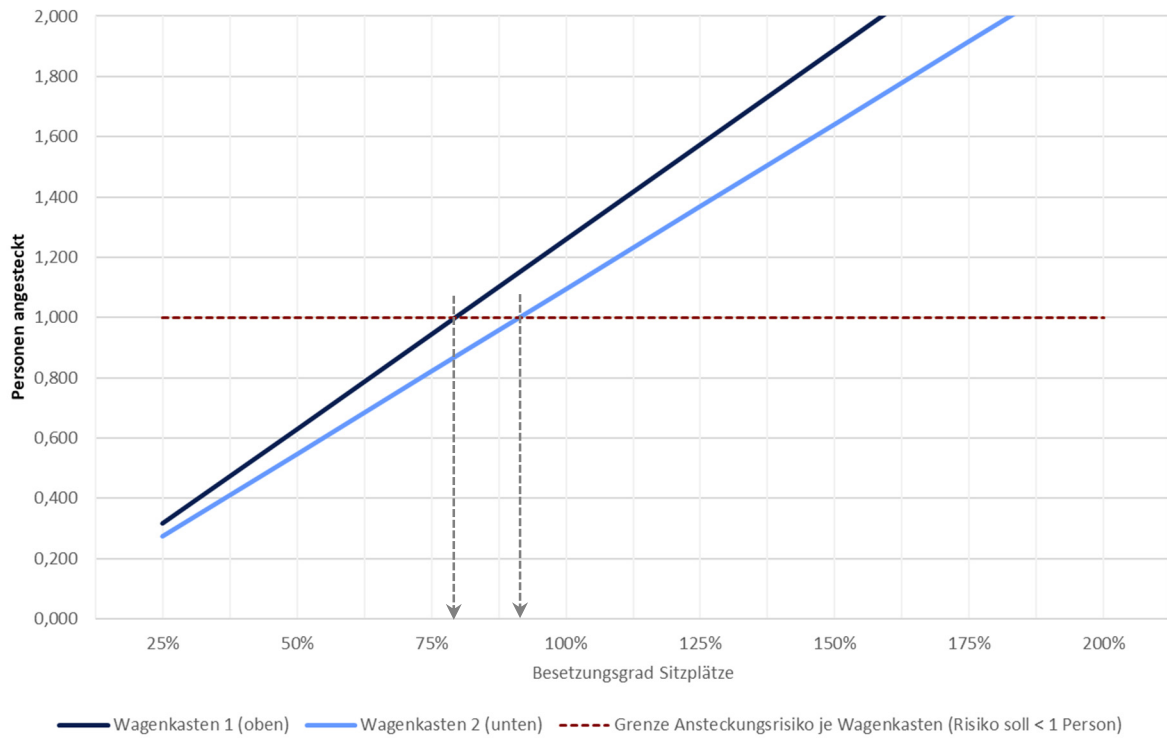


Abbildung 5.18: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,027%	1,800%	1,260	79,4%	55,6
Wagenkasten 2	0,021%	1,500%	1,095	91,3%	66,6

Tabelle 5.22: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Doppelstockreisezugwagen

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

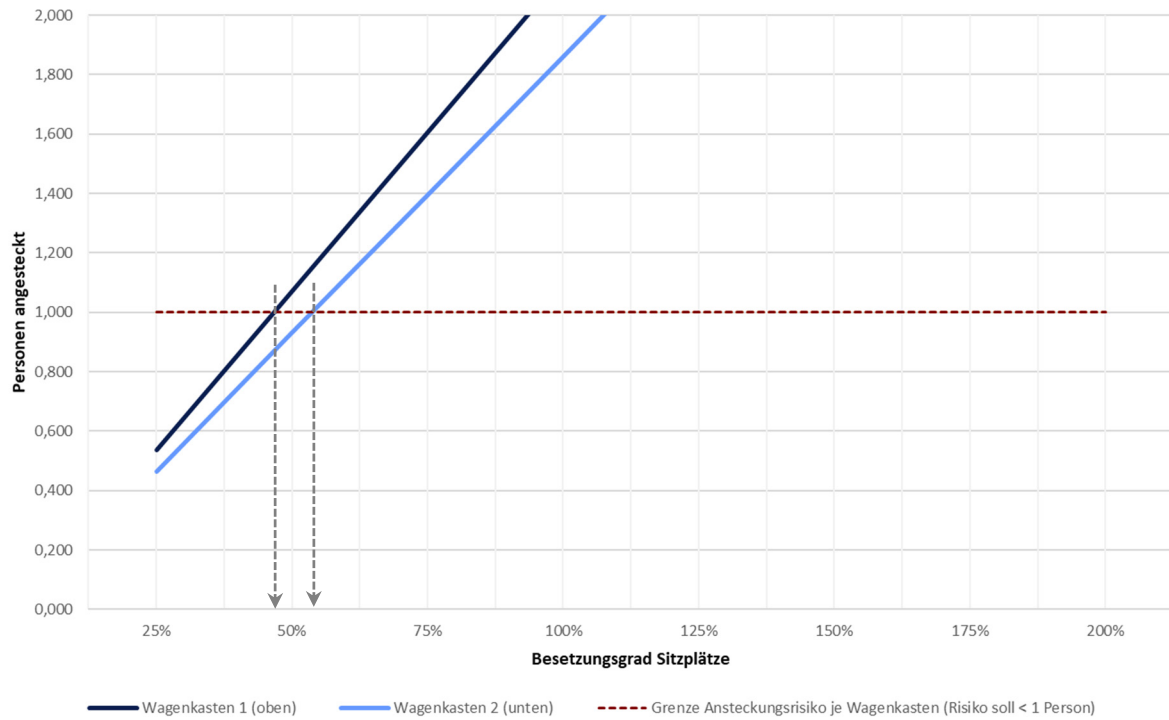


Abbildung 5.19: Ergebnis DoSto für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,046%	3,060%	2,142	46,7%	32,7
Wagenkasten 2	0,036%	2,550%	1,862	53,7%	39,2

Tabelle 5.23: Ergebnis DoSto für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Doppelstockreisezugwagen

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

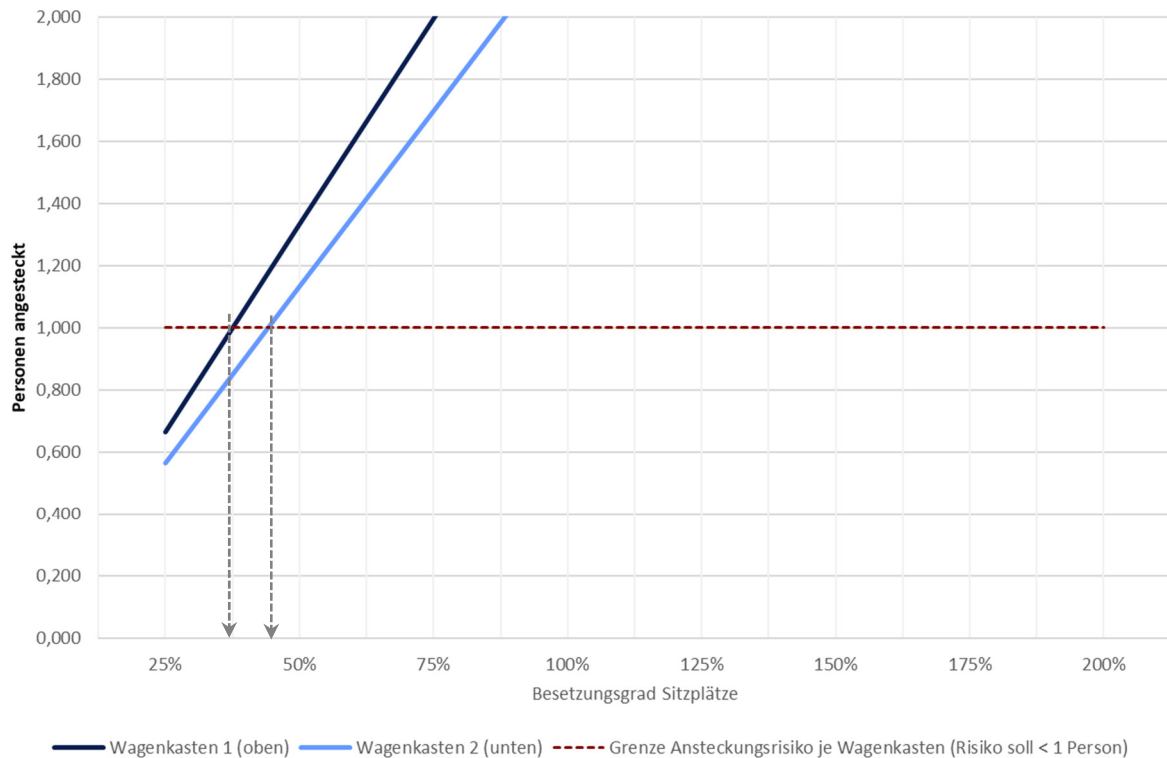


Abbildung 5.20: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,056%	3,800%	2,660	37,6%	26,3
Wagenkasten 2	0,044%	3,100%	2,263	44,2%	32,3

Tabelle 5.24: Ergebnis DoSto für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Doppelstockreisezugwagen

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

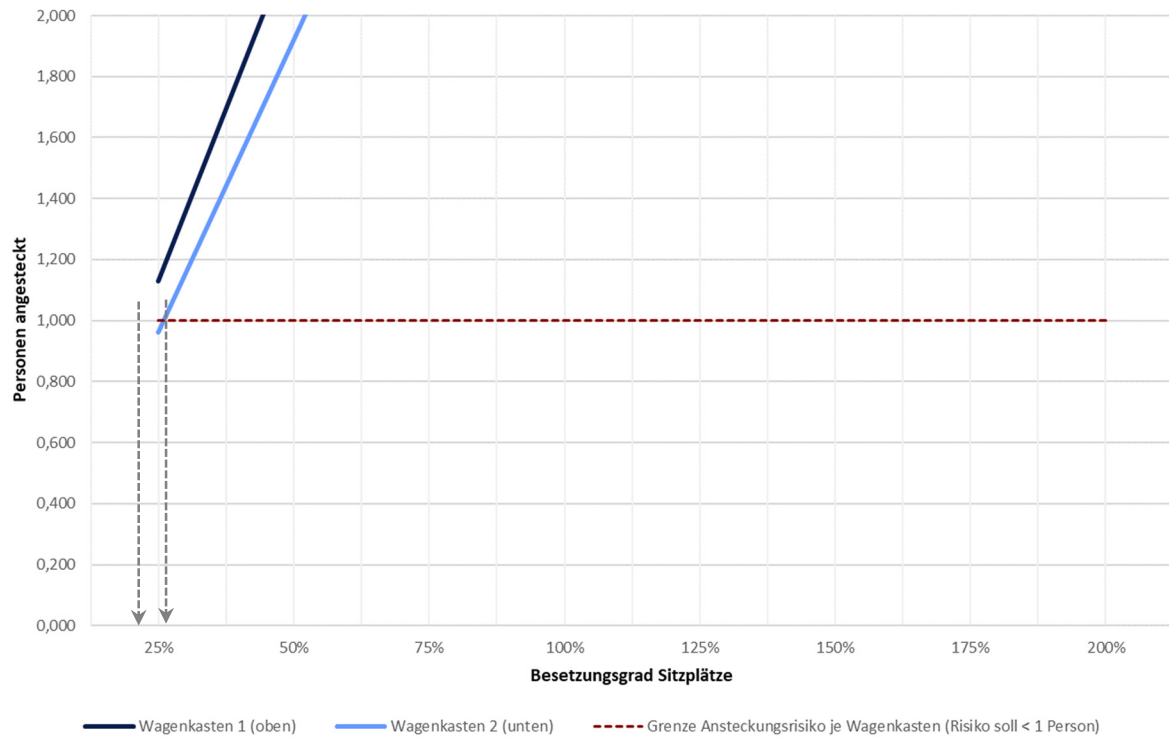


Abbildung 5.21: Ergebnis DoSto für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,095%	6,460%	4,522	22,1%	15,5
Wagenkasten 2	0,075%	5,270%	3,847	26,0%	19,0

Tabelle 5.25: Ergebnis DoSto für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.2 Fahrzeuge im öffentlichen Personennahverkehr

Die hier betrachteten Fahrzeuge unterteilen sich in zwei Untergruppen⁵⁸. Die Gruppe der Fahrzeuge für den öffentlichen Personennahverkehr wurde so zusammengestellt, dass unterschiedliche Einsatzgebiete aus den Bereichen des Stadt- und des Regionalverkehrs Berücksichtigung finden.



Abbildung 5.22: Gelenkbusse für den Stadtverkehr

Außerdem wurden als Untersuchungsgegenstand schienen- und straßengebundene Verkehrsträger gewählt.

⁵⁸ vgl. Kapitel 2

5.2.1 Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)

Der Triebwagen des Typs SSB DT8 des Herstellerkonsortiums Siemens, DUEWAG, Stadler, Bombardier ist ein in Stuttgart stark verbreiteter Stadtbahnwagen. Das hier betrachtete Fahrzeug verkehrt im kommunalen Stadtverkehr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁵⁹ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.26 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	17,15 m	17,15 m	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁶⁰ (Fahrgastraum)	2,65 m	2,65 m	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁶¹ (Fahrgastraum)	2,22 m	2,22 m	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁶²	70,00 %	70,00 %	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	54 Pl.	54 Pl.	---	---	---

Tabelle 5.26: Merkmale SSB DT8

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁵⁹ WK = Wagenkasten

⁶⁰ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁶¹ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁶² Ü-Faktor

Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

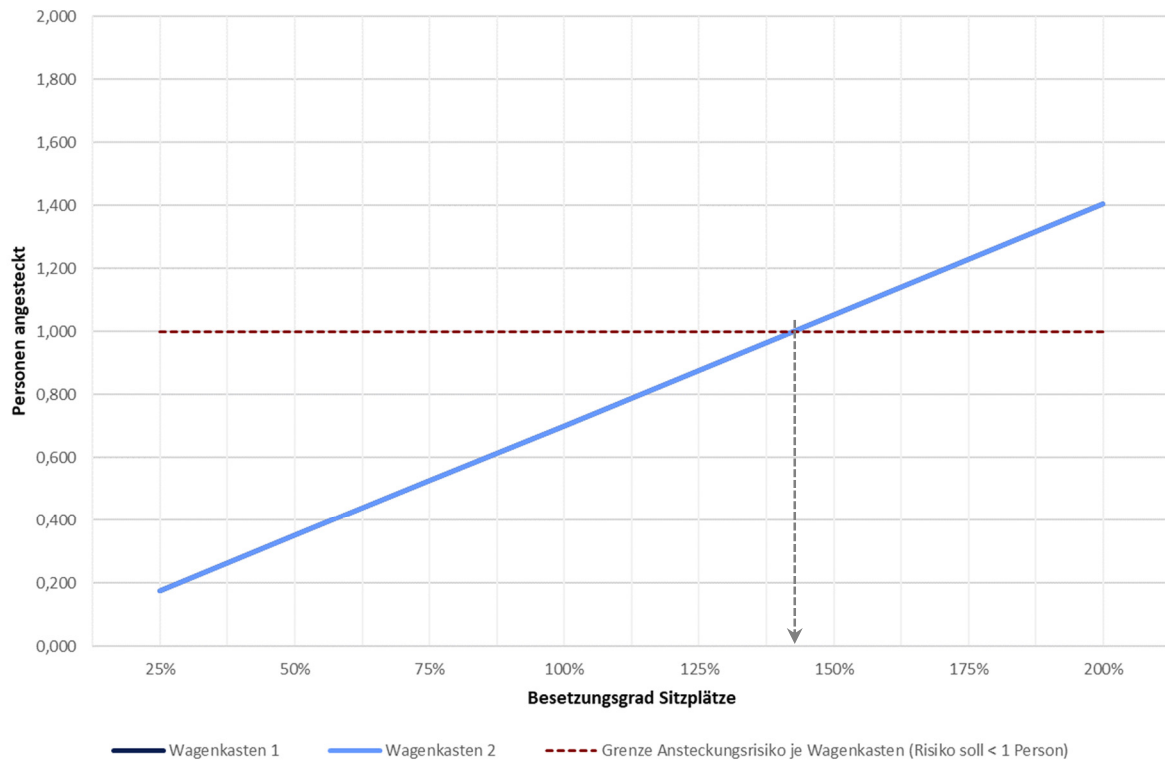


Abbildung 5.23: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,018%	1,300%	0,702	142,5%	77,0
Wagenkasten 2	0,018%	1,300%	0,702	142,5%	77,0

Tabelle 5.27: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

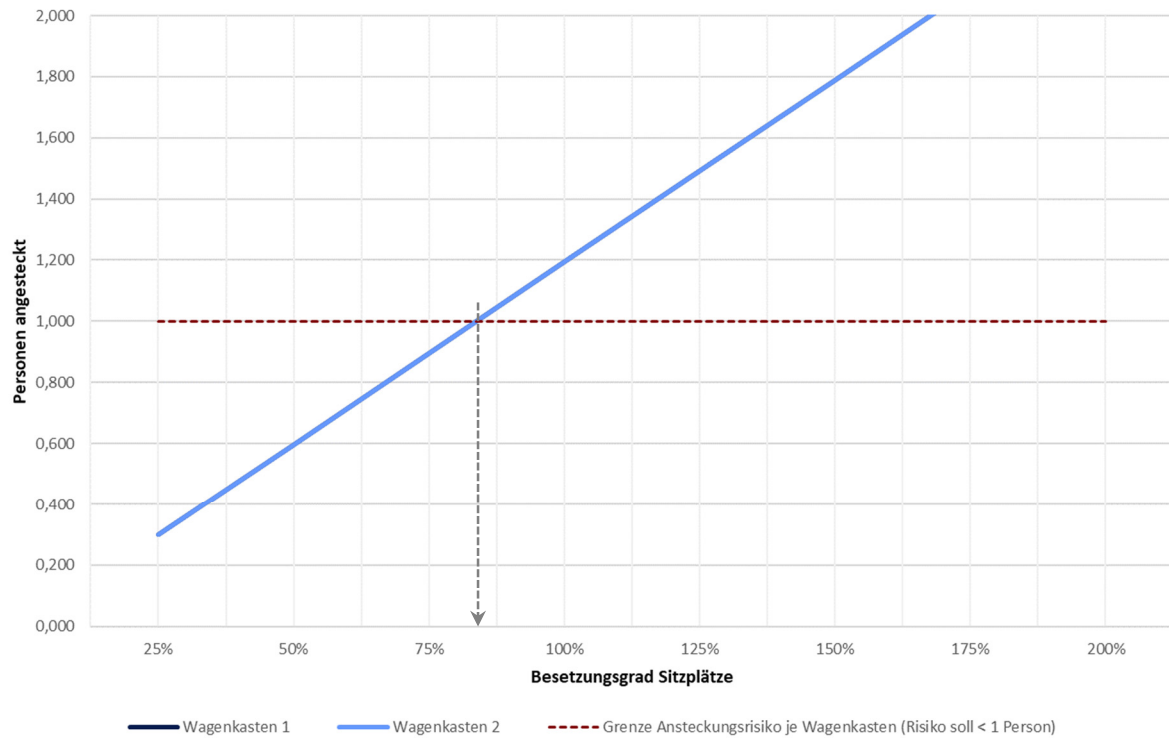


Abbildung 5.24: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,031%	2,210%	1,193	83,8%	45,3
Wagenkasten 2	0,031%	2,210%	1,193	83,8%	45,3

Tabelle 5.28: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

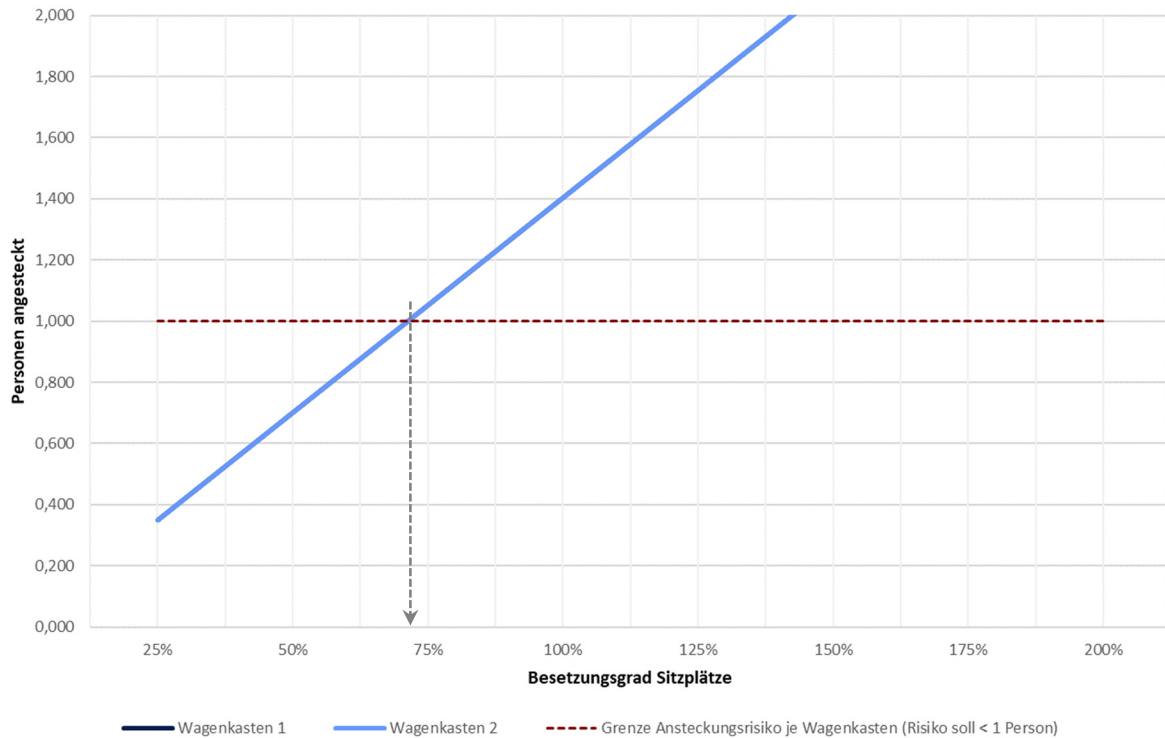


Abbildung 5.25: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,037%	2,600%	1,404	71,2%	38,4
Wagenkasten 2	0,037%	2,600%	1,404	71,2%	38,4

Tabelle 5.29: Ergebnis SSB DT8 für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Stadtbahn SSB DT8 (Stuttgart)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

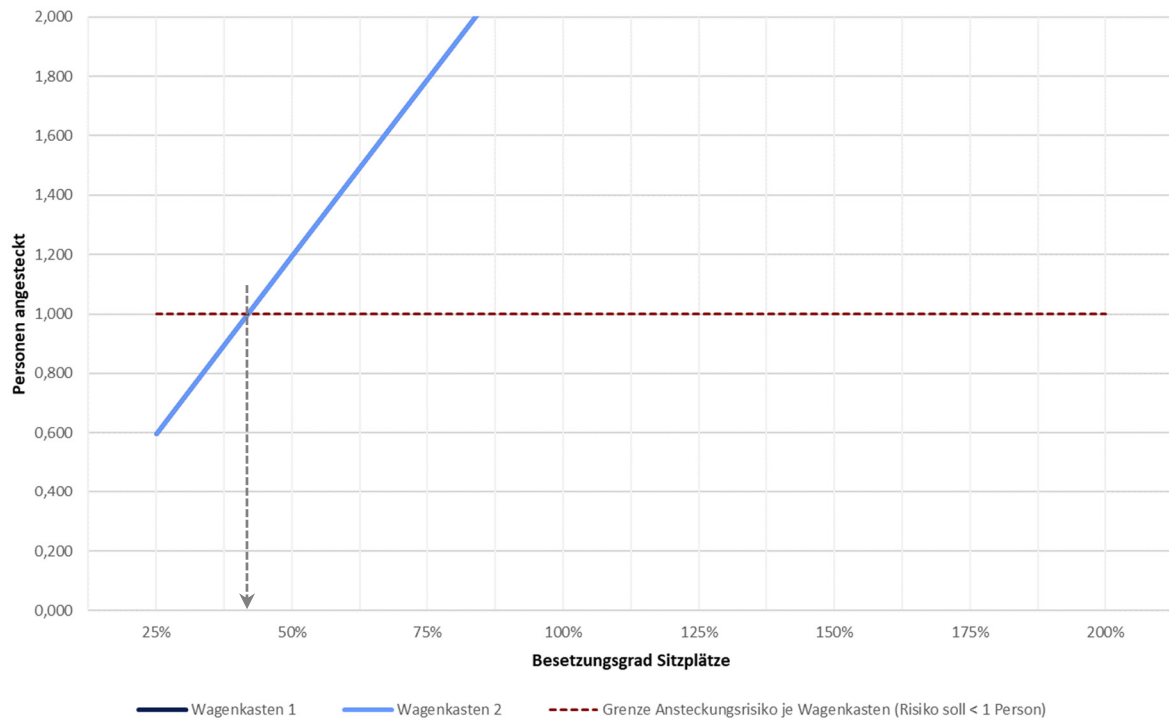


Abbildung 5.26: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,063%	4,420%	2,387	41,9%	22,6
Wagenkasten 2	0,063%	4,420%	2,387	41,9%	22,6

Tabelle 5.30: Ergebnis SSB DT8 für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.2.2 Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)

Der Stadtbahnwagen GTZ6-H des Herstellers HeiterBlick wurde zur Expo 2000 in Hannover eingeführt. Der hier betrachtete Triebwagen verkehrt in der niedersächsischen Landeshauptstadt im urbanen Verkehrsraum. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁶³ und Anzahl der Sitzplätze, sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	10,25 m	10,25 m	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁶⁴ (Fahrgastraum)	2,65 m	2,65 m	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁶⁵ (Fahrgastraum)	2,22 m	2,22 m	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁶⁶	70,00 %	70,00 %	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	27 Pl.	27 Pl.	---	---	---

Tabelle 5.31: Merkmale GTZ6-H

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁶³ WK = Wagenkasten

⁶⁴ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁶⁵ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁶⁶ Ü-Faktor

Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

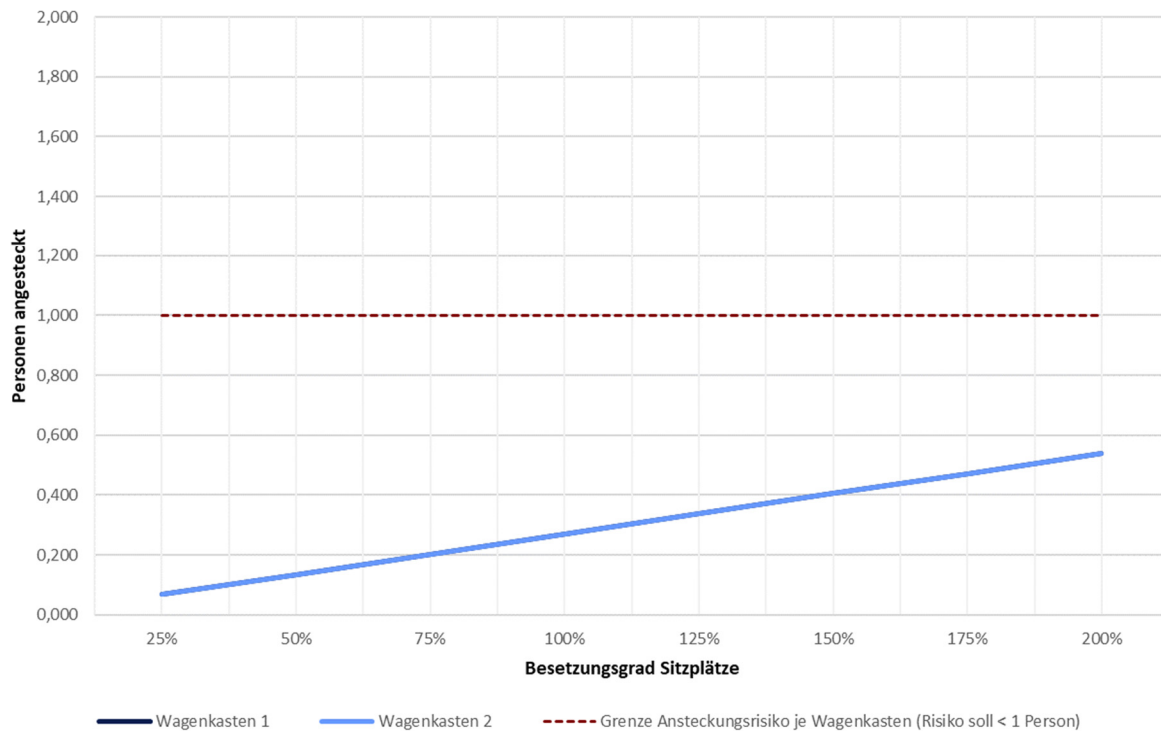


Abbildung 5.27: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,030%	1,000%	0,270	370,5%	100,0
Wagenkasten 2	0,030%	1,000%	0,270	370,5%	100,0

Tabelle 5.32: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

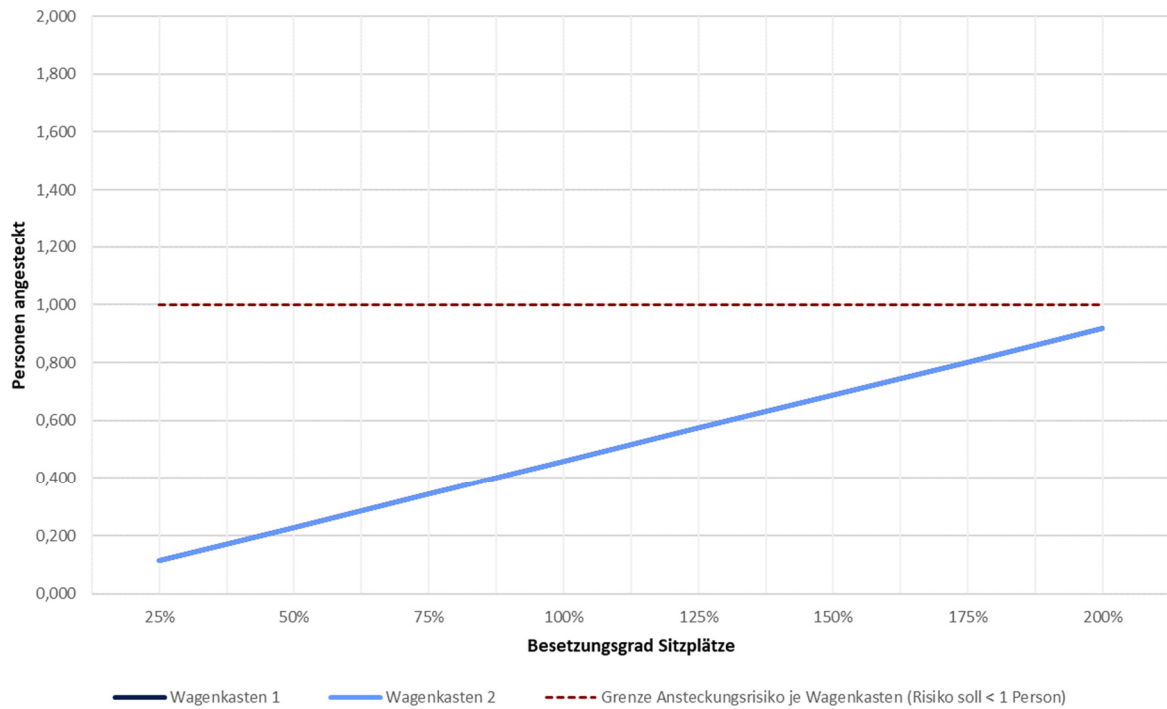


Abbildung 5.28: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,051%	1,700%	0,459	217,8%	58,8
Wagenkasten 2	0,051%	1,700%	0,459	217,8%	58,8

Tabelle 5.33: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

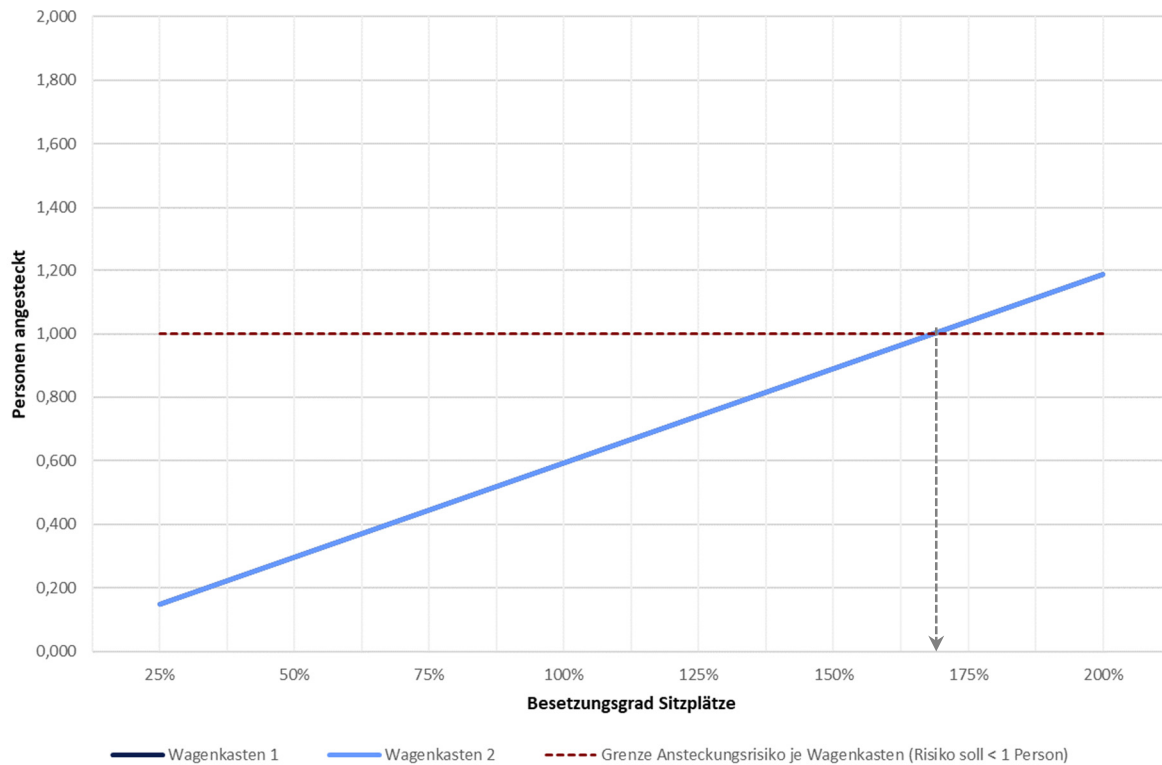


Abbildung 5.29: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,062%	2,200%	0,594	168,4%	45,5
Wagenkasten 2	0,620%	2,200%	0,594	168,4%	45,5

Tabelle 5.34: Ergebnis GTZ6-H für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Stadtbahn GTZ6-H (Hannover)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

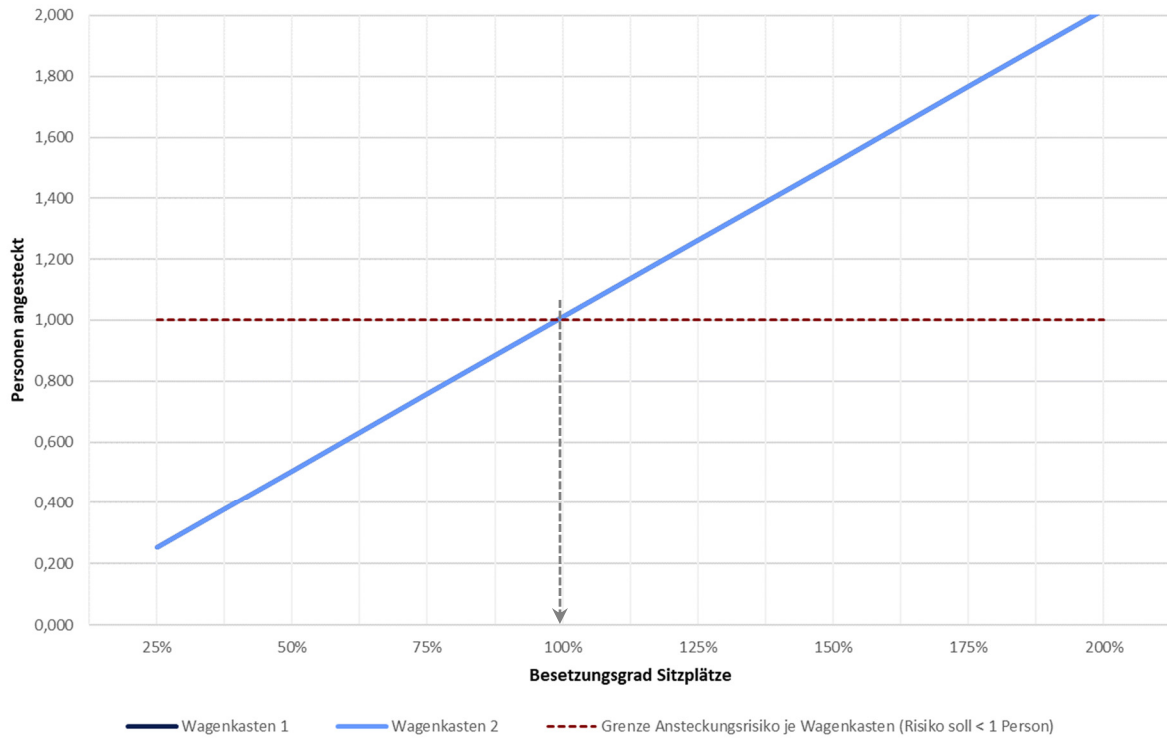


Abbildung 5.30: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,105%	3,740%	1,010	99,0%	26,7
Wagenkasten 2	1,054%	3,740%	1,010	99,0%	26,7

Tabelle 5.35: Ergebnis GTZ6-H für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.2.3 Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)

Der Stadtbahntriebwagen Typ B des Herstellerkonsortiums Siemens, DUEWAG ist ein älterer, allerdings noch sehr weit verbreiteter Triebwagen in der gesamten Metropolregion Rhein/Ruhr. Die für die Berechnungen notwendigen Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁶⁷ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.36 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	11,75 m	11,75 m	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁶⁸ (Fahrgastraum)	2,65 m	2,65 m	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁶⁹ (Fahrgastraum)	2,23 m	2,65 m	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁷⁰	70,00 %	70 %	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	36 Pl.	36 Pl.	---	---	---

Tabelle 5.36: Merkmale Stadtbahn Typ B

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁶⁷ WK = Wagenkasten

⁶⁸ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁶⁹ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁷⁰ Ü-Faktor

Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

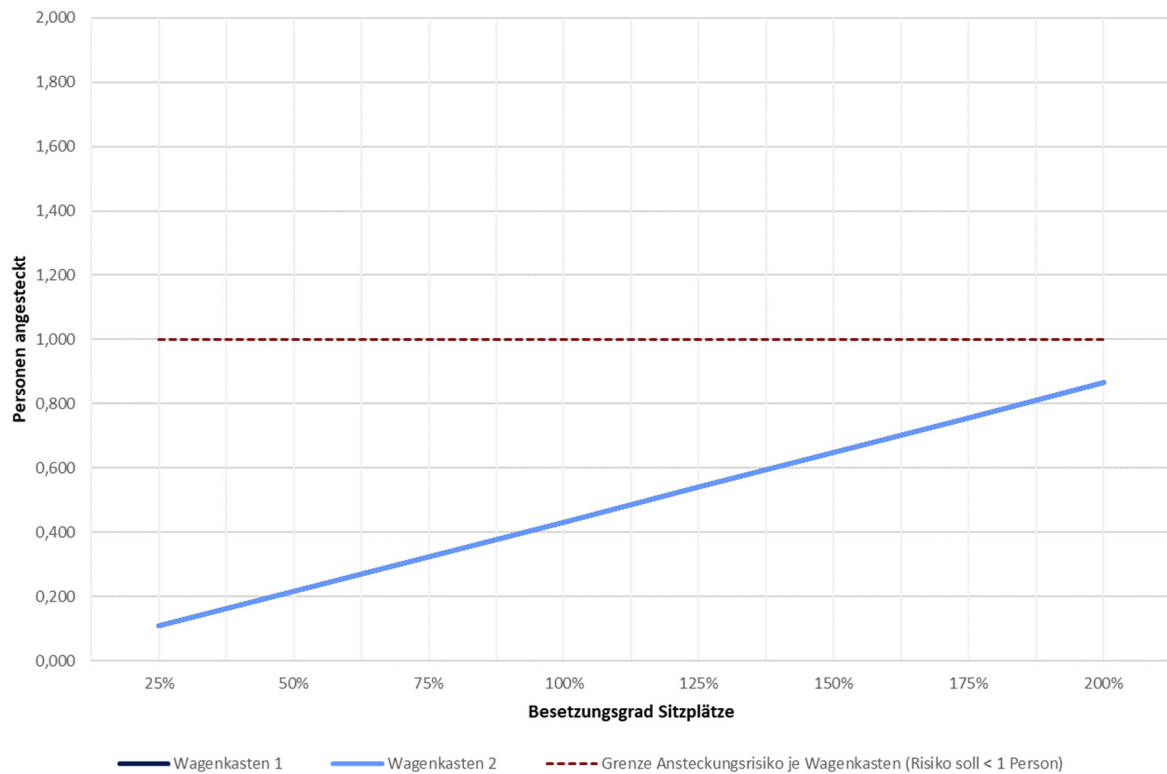


Abbildung 5.31: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,026%	1,200%	0,432	231,5%	83,3
Wagenkasten 2	0,026%	1,200%	0,432	231,5%	83,3

Tabelle 5.37: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

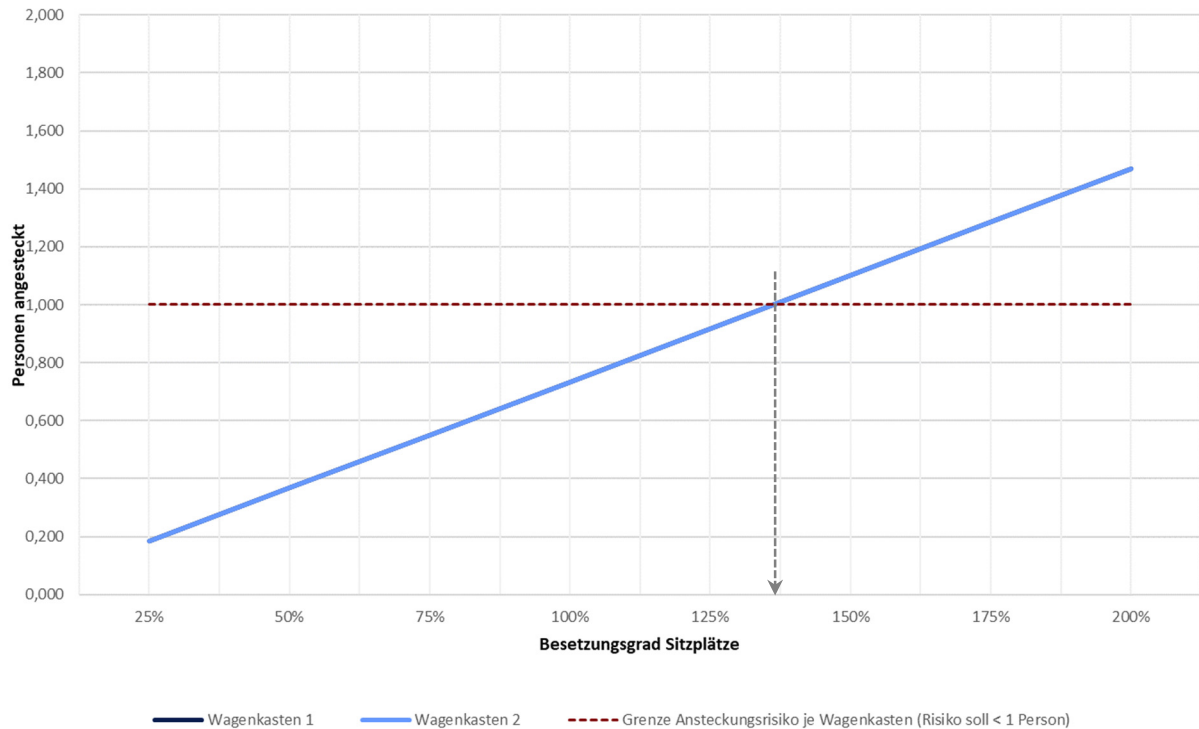


Abbildung 5.32: Ergebnis Typ B für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,044%	2,040%	0,944	136,2%	49,0
Wagenkasten 2	0,044%	2,040%	0,944	136,2%	49,0

Tabelle 5.38: Ergebnis Typ B für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

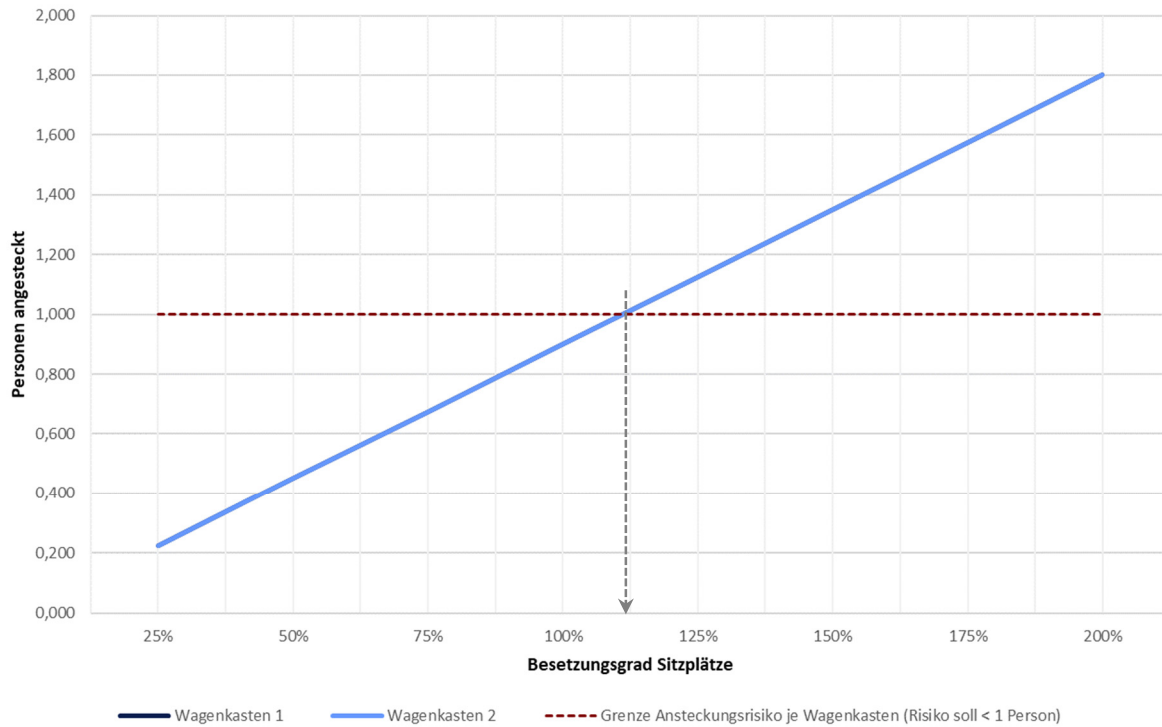


Abbildung 5.33: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,054%	2,500%	0,900	111,1%	40,0
Wagenkasten 2	0,054%	2,500%	0,900	111,1%	40,0

Tabelle 5.39: Ergebnis Typ B für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Stadtbahn Typ B (Rhein/Ruhr)

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

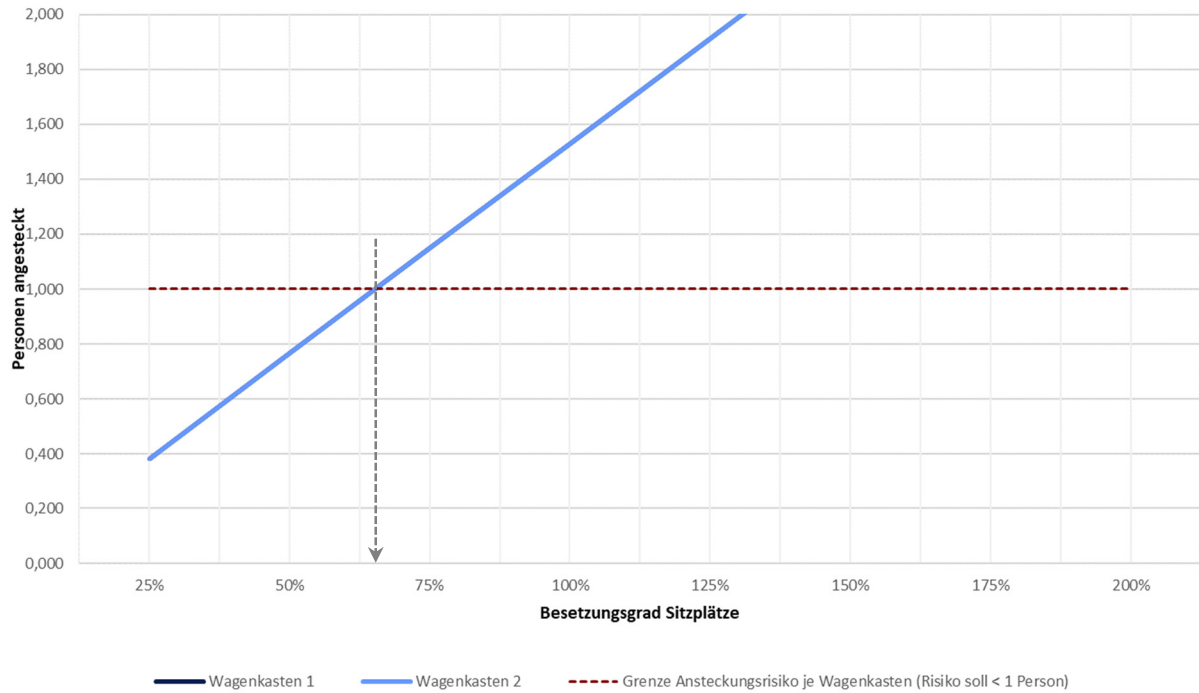


Abbildung 5.34: Ergebnis Typ B für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,092%	4,250%	1,966	65,3%	23,5
Wagenkasten 2	0,092%	4,250%	1,966	65,3%	23,5

Tabelle 5.40: Ergebnis Typ B für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.2.4 Solobus

Der hier betrachtete Solobus liegt keinem konkreten Fahrzeug mit einem definierten Einsatzgebiet zugrunde. Die im Regional- und Stadtverkehr eingesetzten Busse verschiedenster Hersteller (beispielsweise MAN) verkehren praktisch in der gesamten Bundesrepublik Deutschland. Die für die Berechnungen exemplarisch verwendeten Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁷¹ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.41 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	9,73 m	---	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁷² (Fahrgastraum)	2,50 m	---	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁷³ (Fahrgastraum)	1,98 m	---	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁷⁴	0,00 %	---	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	35 Pl.	---	---	---	---

Tabelle 5.41: Merkmale Solobus

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁷¹ WK = Wagenkasten

⁷² mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁷³ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁷⁴ Ü-Faktor

Solobus

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

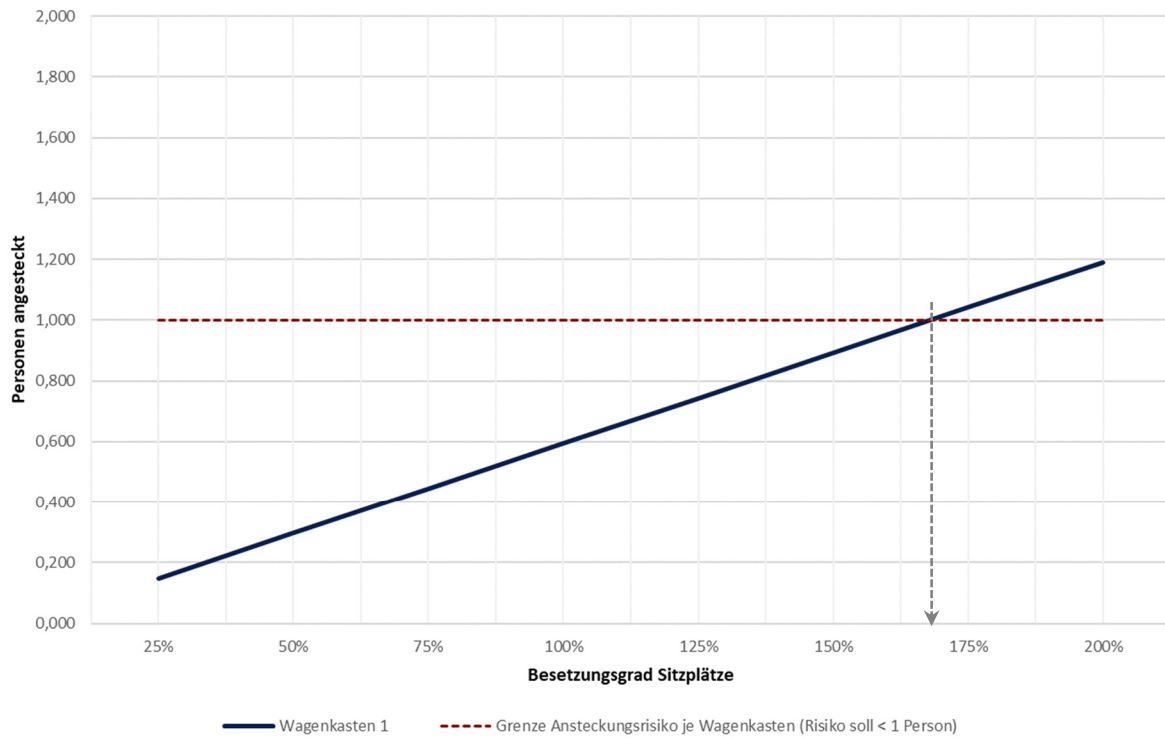


Abbildung 5.35: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,050%	1,700%	0,595	168,0%	58,8

Tabelle 5.42: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Solobus

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

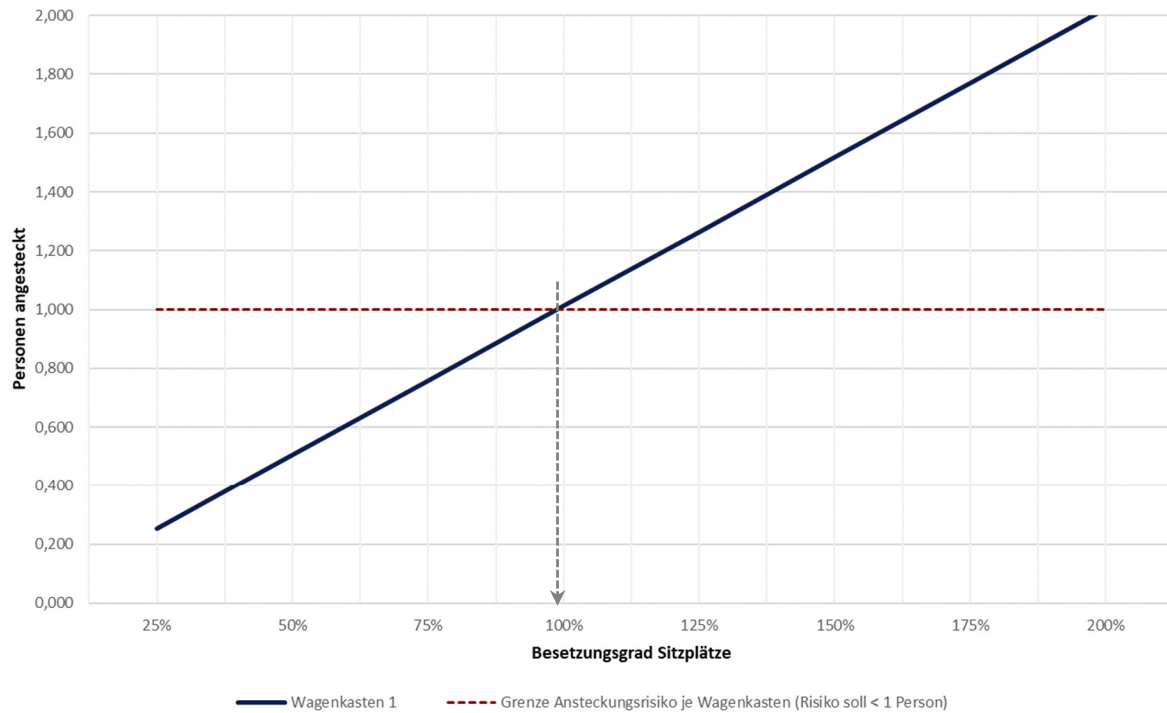


Abbildung 5.36: Ergebnis Solobus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,085%	2,890%	1,012	98,9%	34,6

Tabelle 5.43: Ergebnis Solobus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Solobus

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

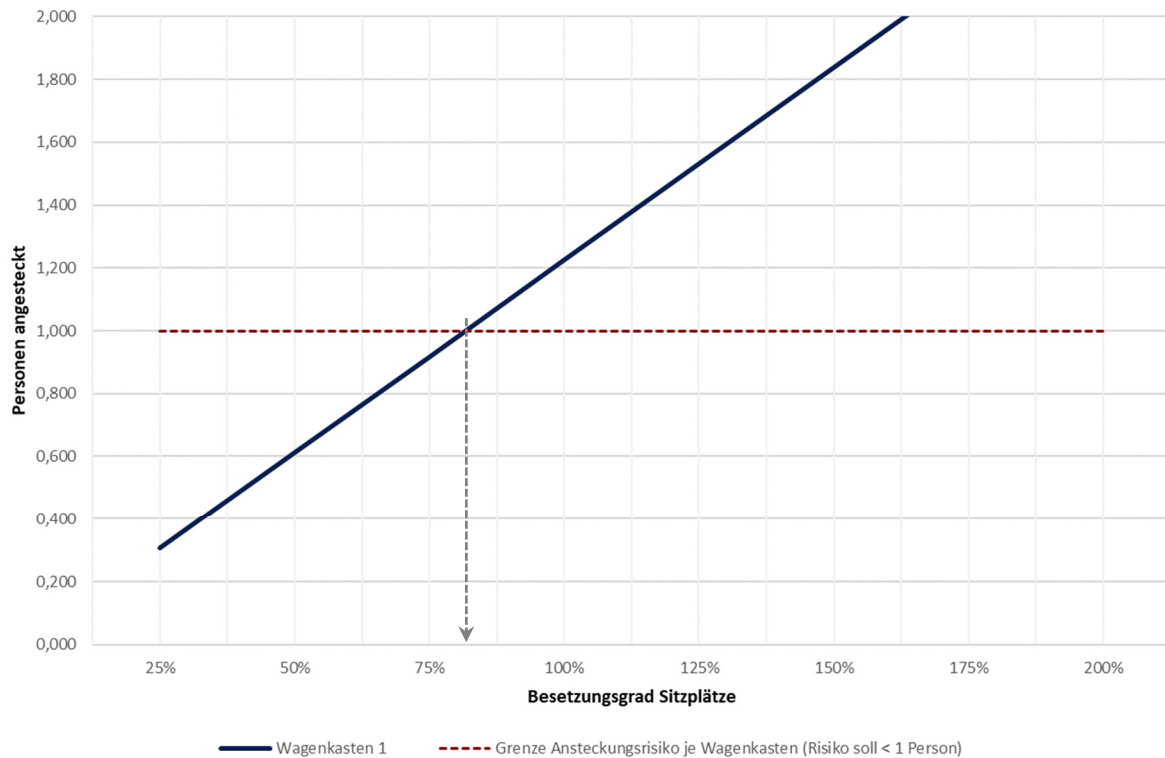


Abbildung 5.37: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,100%	3,500%	1,225	81,6%	28,6

Tabelle 5.44: Ergebnis Solobus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Solobus

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

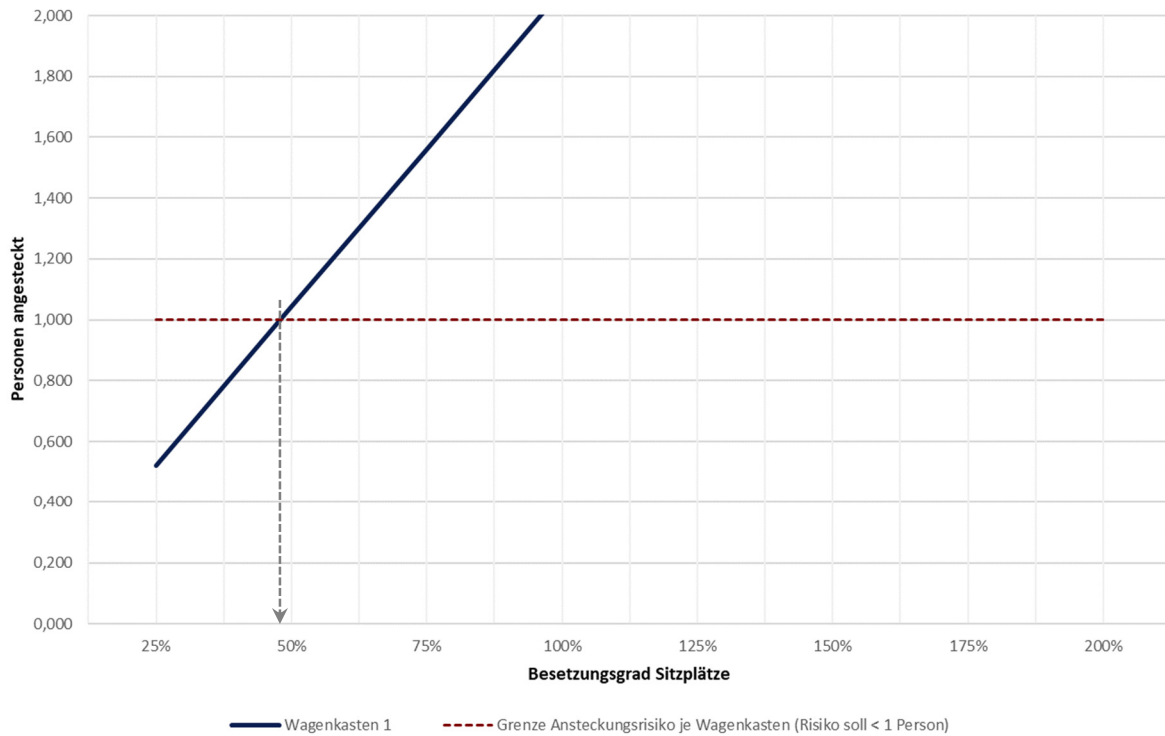


Abbildung 5.38: Ergebnis Solobus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,170%	5,950%	2,083	48,0%	16,8

Tabelle 5.45: Ergebnis Solobus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

5.2.5 Gelenkbus

Der hier betrachtete Gelenkbus liegt keinem konkreten Fahrzeug mit einem definierten Einsatzgebiet zugrunde. Die überwiegend im Stadtverkehr eingesetzten Busse verschiedenster Hersteller (beispielsweise MAN) verkehren praktisch in jedem städtischen Raum. Die für die Berechnungen exemplarisch verwendeten Merkmale, wie Abmessung der Wagenkästen (WK)⁷⁵ und Anzahl der Sitzplätze, sind Tabelle 5.46 zu entnehmen.

Merkmal	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5
Wagenkastenlänge (Fahrgastraum)	16,50 m	---	---	---	---
Wagenkastenbreite ⁷⁶ (Fahrgastraum)	2,50 m	---	---	---	---
Wagenkastenhöhe ⁷⁷ (Fahrgastraum)	1,98 m	---	---	---	---
Überschneidung Wagenkästen ⁷⁸	0,00 % ⁷⁹	---	---	---	---
Anzahl Sitzplätze	50 Pl.	---	---	---	---

Tabelle 5.46: Merkmale Gelenkbus

Im Folgenden wurden mit der standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 in einzelnen Wagenkästen des öffentlichen Personenverkehrs insgesamt vier verschiedene Szenarien berechnet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Ausfall der Klimaanlage

Die entsprechenden Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

⁷⁵ WK = Wagenkasten

⁷⁶ mittlere Breite über den gesamten Wagenkasten

⁷⁷ mittlere Höhe über den gesamten Wagenkasten

⁷⁸ Ü-Faktor

⁷⁹ Gelenkbus wird als ein Wagenkasten betrachtet

Gelenkbus

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Nutzung der Klimaanlage

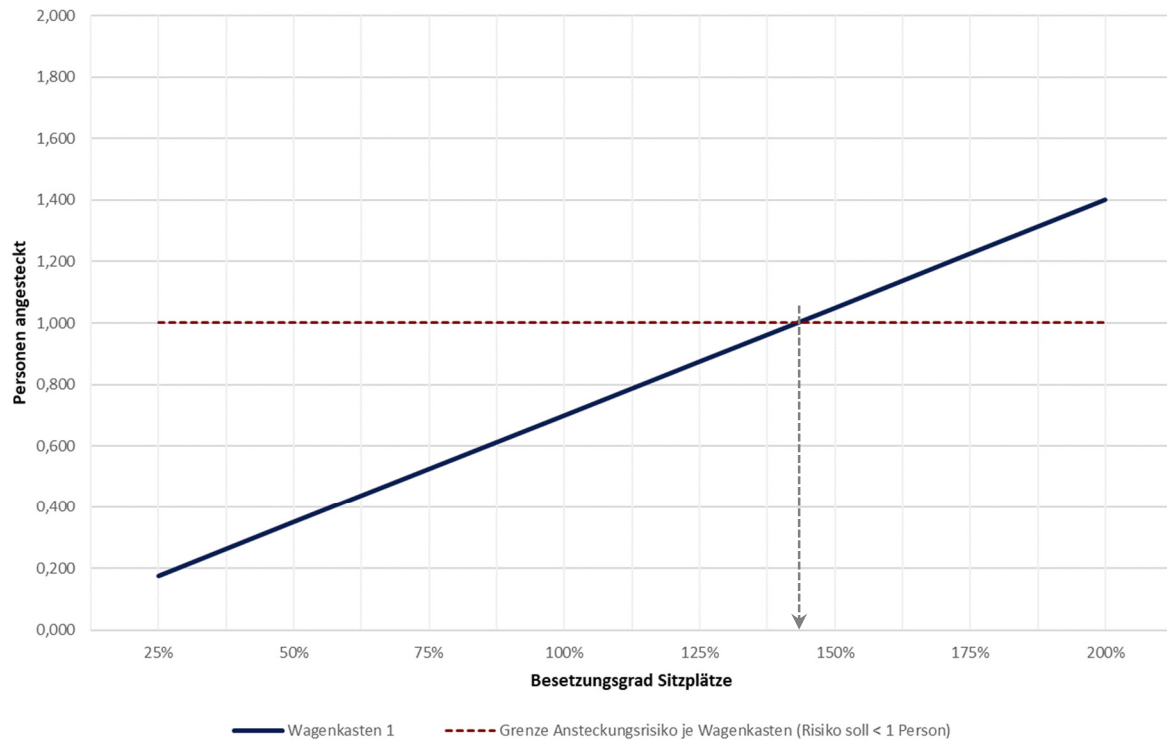


Abbildung 5.39: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,030%	1,400%	0,700	142,8%	71,4

Tabelle 5.47: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Nutzung der Klimaanlage

Gelenkbus

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) mit Nutzung der Klimaanlage

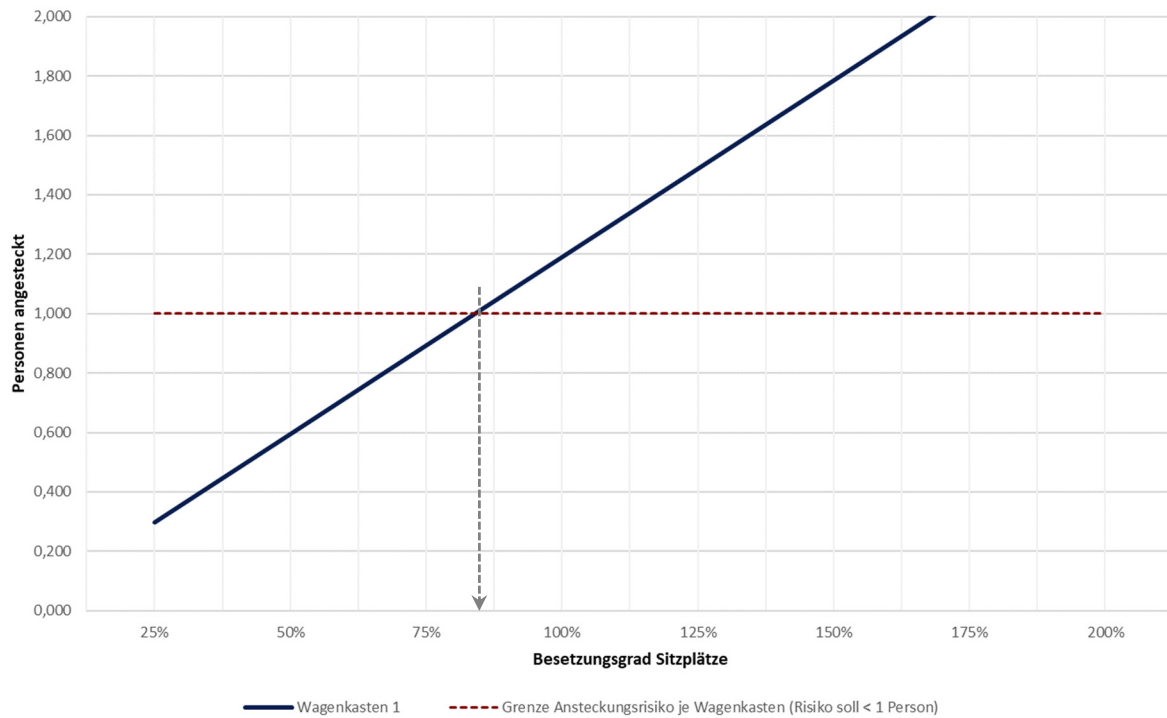


Abbildung 4.40: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,051%	2,380%	1,190	84,0%	42,0

Tabelle 5.48: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Nutzung der Klimaanlage

Gelenkbus

Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit Ausfall der Klimaanlage

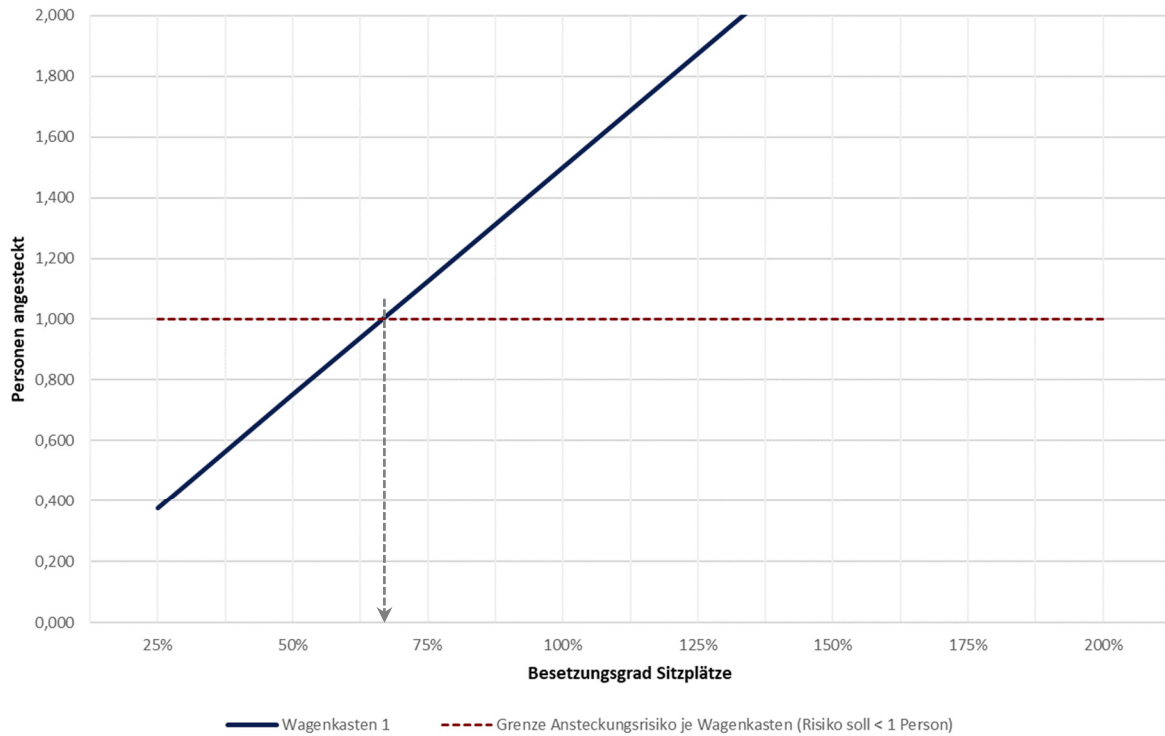


Abbildung 5.41: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,062%	3,000%	1,500	66,7%	33,4

Tabelle 5.49: Ergebnis Gelenkbus für Standardansteckung mit Ausfall der Klimaanlage

Gelenkbus

Mutation-Variante COVID-19 (70% ansteckender) Ausfall Nutzung der Klimaanlage

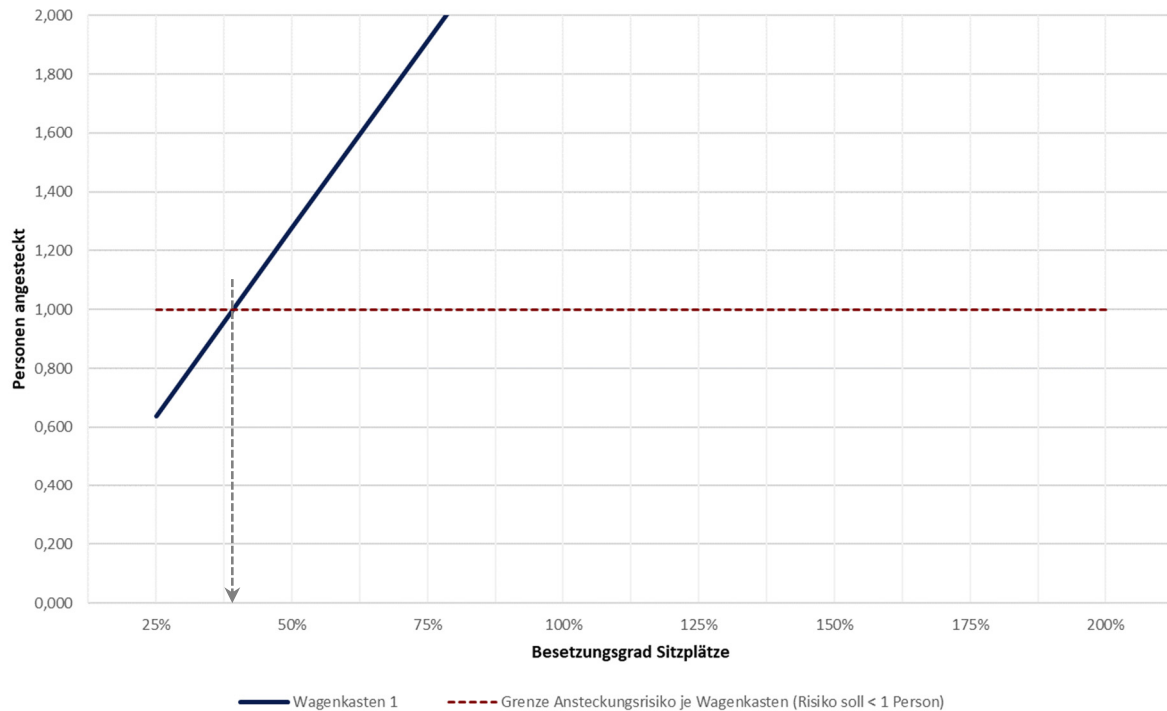


Abbildung 5.42: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

	Wahrscheinlichkeit Infektion pro Person im Teilsystem	Wahrscheinlichkeit weitere Person wird infiziert, wenn bereits eine Person im Teilsystem infiziert ist	Anzahl Personen die sich bei 100 % Besetzung der Sitzplätze infizieren	Grad der Besetzung um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden	Anzahl Personen um eine Ansteckung statistisch zu vermeiden
Wagenkasten 1	0,105%	5,100%	2,550	39,2%	19,6

Tabelle 5.50: Ergebnis Gelenkbus für Mutation mit Ausfall der Klimaanlage

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit dem vorliegenden Konzeptpapier zur Herleitung einer standardisierten Methode für die Ermittlung der statistischen Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 im öffentlichen Personenverkehr wird gezeigt, dass es rechnerisch möglich ist die Besetzung einzelner Wagenkästen an veränderlichen Rahmenbedingungen optimal anzupassen. Das allgemeingültige Vorgehen erlaubt es jeden Fahrzeugtypen des öffentlichen Personenverkehrs zu betrachten und iterativ Bedingungen, wie Ausfall der Klimaanlage, zu simulieren. Mit den so ermittelten Ergebnissen besteht auch die Möglichkeit die Besetzung der einzelnen Wagenkästen individuell an veränderte Virusparameter anzupassen.

In dieser Arbeit wurden insgesamt zehn unterschiedliche Fahrzeugtypen untersucht⁸⁰. Jeweils fünf Fahrzeugtypen des Schienenpersonennahverkehrs und fünf des öffentlichen Personenverkehrs. Dabei wurden für jeden Fahrzeugtypen vier Szenarien betrachtet.

- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) mit voller Nutzung einer modernen Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70 % ansteckender) mit voller Nutzung einer modernen Klimaanlage
- Dominat-Variante COVID-19 (Standardansteckung) bei Ausfall der Klimaanlage
- Mutation-Variante COVID-19 (70 % ansteckender) bei Ausfall der Klimaanlage

Die so entstandenen Ergebnisse sind untereinander vergleichbar⁸¹ und es können Rückschlüsse auf die Plausibilität der Berechnungen geschlossen werden.

Bei den Fahrzeugen des Schienenpersonennahverkehrs zeigt sich, dass die Funktionstüchtigkeit der Klimaanlagen einen großen Einfluss auf den optimalen Besetzungsgrad hat. Mit Ausnahme der Doppelstockwagen liegen alle untersuchten Fahrzeugtypen mit Klimaanlage bei einem optimalen Besetzungsgrad von deutlich über 100,0 %. Der betrachtete Doppelstockwagen fällt dabei mit 85,5 % etwas aus dem Bild der anderen Fahrzeugtypen. Mit seinen recht niedrigen Deckenhöhen weist er einen relativ hohen Anteil an Sitzplätzen zur Grundfläche auf, was zu einem ungünstigen Verhältnis des Raumvolumens zu den Sitzplätzen führt. Wird als Verbesserungsmaßnahme beispielsweise der Parameter für den Luftaustausch in diesem Fall von 12,5 Minuten auf 10,0 Minuten

⁸⁰ vgl. Kapitel 2

⁸¹ Standard-Parameter wurden für alle Szenarien und Fahrzeugtypen gleich angesetzt

gesetzt, steigt auch für den Doppelstockwagen der optimale Besetzungsgrad auf über 100,0 %. In den weiteren untersuchten Fällen fallen, mit Ausnahme des Dieseltriebwagens Talent, alle betrachteten Fahrzeugtypen unter die 100,0 % Marke.

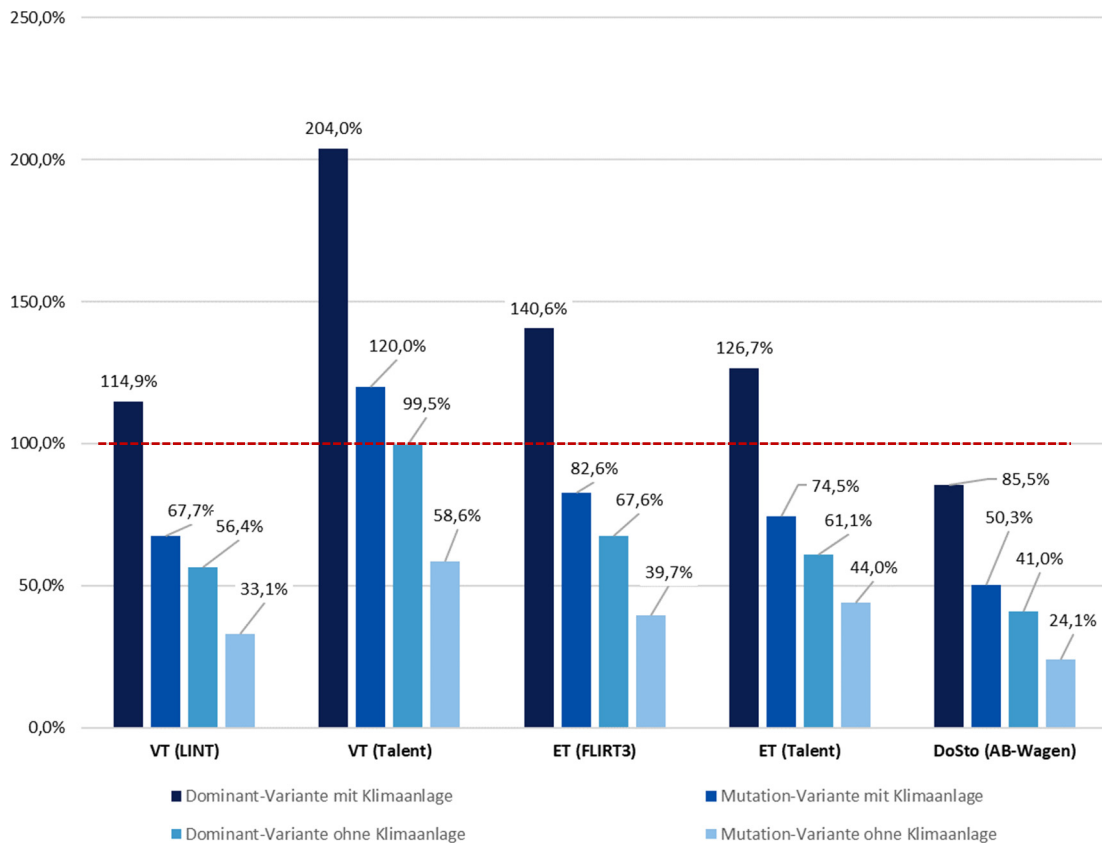


Abbildung 6.1: Übersicht maximal möglicher Besetzungsgrad im SPNV⁸²

Für den individuellen Umgang in der Betrachtung pro Wagenkästen sei an dieser Stelle der Dieseltriebwagen Talent exemplarisch erwähnt. Das Wagenkastenlayout dieses Fahrzeuges weist ein stark inhomogenes Bild auf. So kommt es bei einem Ausfall der Klimaanlage zu einer Situation, in der zwei Wagenkästen eine optimale Besetzung der Sitzplätze von etwa 80,0 % zulassen, wobei ein Wagenkasten noch eine optimale Besetzung von etwa 150,0 % erlaubt⁸³. Bei den Fahrzeugen des öffentlichen Personennahverkehrs zeigt sich eine vergleichbare Tendenz zu den Fahrzeugen des Schienenpersonennahverkehrs. Auch hier kommt es bei Ausfall der Klimaanlage zu den größten negativen Abfällen beim optimalen Besetzungsgrad der Sitzplätze. Allerdings liegen zwei von drei Stadtbahntypen trotz Ausfall der Klimaanlage

⁸² im Mittel über alle Wagenkästen je Fahrzeugtyp

⁸³ vgl. Kapitel 5.2.1

oder trotz erhöhten Ansteckungsrisiken, bei einem möglichen Besetzungsgrad von über 100,0 %.

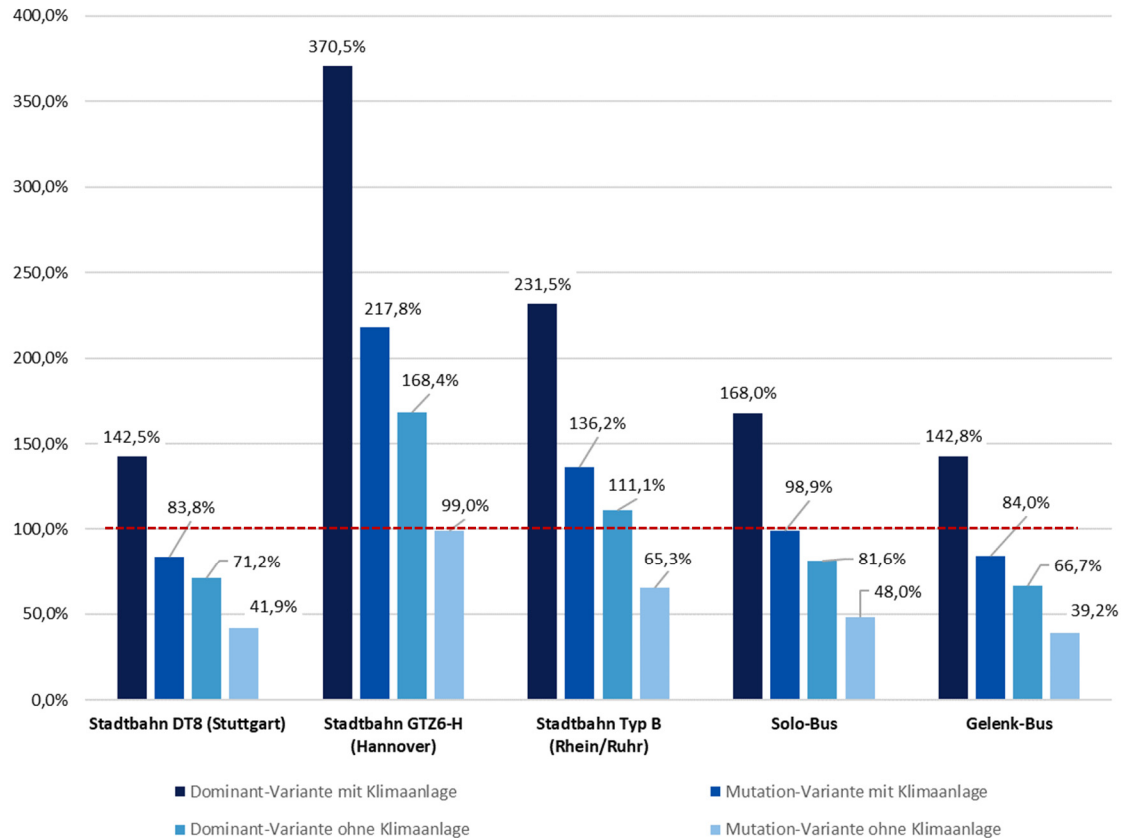


Abbildung 6.2: Übersicht maximal möglicher Besetzungsgrad im ÖPNV⁸⁴

Bedingt durch den recht hohen Anteil an Stehplätzen ist bei dem Stadtbahntriebwagen aus Hannover⁸⁵ auch noch eine annähernde Besetzung von 100,0 % der Sitzplätze möglich, wenn die Klimaanlage ausfällt und es zusätzlich zu einer erhöhten Ansteckungsrate in Folge einer Virusmutation kommt.

⁸⁴ im Mittel über alle Wagenkästen je Fahrzeugtyp

⁸⁵ GTZ6-H

7 Resümee und Ausblick

„Umgang mit den Risiken einer Übertragung von COVID-19 im öffentlichen Personenverkehr“. Ein in der öffentlichen Wahrnehmung durchaus emotional geprägtes Themenfeld. Die Akzeptanz öffentlicher Verkehrsmittel steht, mit Blick auf mögliche Infektionsrisiken, nämlich in einem direkten Zusammenhang mit dem empfundenen persönlichen Sicherheitsgefühl⁸⁶. Der hieraus entstehende Rückgang der Reisendenzahlen trifft jeden Player der Verkehrsbranche auch wirtschaftlich. Dazu hat das Robert Koch Institut ermittelt, dass das Ansteckungsrisiko im öffentlichen Nahverkehr „moderat“⁸⁷ ist, wobei die Skalierung der Bewertung von „niedrig“ bis „umfangreich“ gewählt wurde⁸⁸. Auch bei einer Befragung des ADAC gaben 51 % der Interviewten an, dass die Gefahr sich mit dem Coronavirus in Bussen und Straßenbahnen anzustecken, sehr hoch ist⁸⁹. Um dieses Risiko objektiv beherrschbarer zu machen, wäre die rechnerische Bestimmung von Ansteckungsrisiken im öffentlichen Personenverkehr ein entscheidend wichtiges Instrument für die Verlässlichkeit von Bussen und Bahnen in pandemischen Zeiten. Ziel dieser Arbeit ist daher die Herleitung einer standardisierten Methode zur Ermittlung der Ansteckungswahrscheinlichkeit durch Aerosole mit COVID-19 im öffentlichen Personenverkehr. Dabei werden die individuellen Gegebenheiten der Fahrzeuge berücksichtigt und die Möglichkeit geschaffen sich schnell ändernde Rahmenbedingungen, wie beispielsweise eine erhöhte Ansteckungsrate durch Virusmutationen, zu bewerten. Das Verfahren wird mehrfach iterativ durchlaufen⁹⁰ und so die optimale Besetzung für einen Fahrzeugteil in Abhängigkeit der Ansteckungswahrscheinlichkeit gefunden.

Die hier angesetzten statistischen Annahmen basiert auf den Untersuchungen des Max-Planck-Instituts für Chemie zur theoretischen Übertragungswahrscheinlichkeit von SARS-CoV-2 in geschlossenen Räumen. Auf dieser Grundlage und mit der rechnerischen Bestimmung des inneren Wagenkastenlayouts, wurde ein allgemeingültiger Algorithmus aufgestellt. Diese theoretische Modellrechnung wurde exemplarisch auf insgesamt zehn Fahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs angewendet und dabei jeweils vier Anwendungsfälle (Szenarien) betrachtet. Aus Sicht des Autors dieses Konzeptpapiers

⁸⁶ vgl. VDV, 2021

⁸⁷ vgl. Becker, Kim Björn, 2021

⁸⁸ die Bewertung „moderat“ stellt also eine mittlere Ansteckungswahrscheinlichkeit dar.

⁸⁹ vgl. ADAC, 2020

⁹⁰ vgl. Kapitel 4

erscheinen die Ergebnisse plausibel⁹¹, was die Praxistauglichkeit der hier vorgestellten Methode belegen soll.

Der Algorithmus zur Bestimmung der Ansteckungsrisiken in Fahrzeugen des öffentlichen Personenverkehrs basiert auf stochastischen Ansätzen⁹². Die erzielten Ergebnisse zeigen daher im Wesentlichen statistische Werte. Das große wirtschaftliche Potential im Zusammenhang mit der Steigerung von Reisendenzahlen, rechtfertigt sicher einen vertiefenden Forschungsaufwand in diesem Bereich. Hierbei sollte der Schwerpunkt zukünftiger Entwicklungsarbeit ausdrücklich in der automatisierten Erhebung von fahrgastbezogenen Ist-Daten sowie in der entsprechenden Bereitstellung kundengerechter Kommunikationskanäle liegen. Der Autor dieses Papiers denkt dabei insbesondere daran, die Anzahl der Fahrgäste sowie Reiseweite und Reisezeit einzelner Fahrgäste mit technischen Lösungen in Echtzeit zu erheben⁹³. So sind die vorliegenden Ergebnisse dieses Papiers weiter zu validieren und die Methode insgesamt zu kalibrieren.

Praktiker aus Verkehrsunternehmen diskutieren zusammen mit öffentlichen Auftraggebern in jüngster Vergangenheit die Möglichkeiten Reisende des öffentlichen Personenverkehrs derart zu leiten und reglementieren, dass ein möglichst geringes Infektionsrisiko entsteht. Die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Besetzung der Fahrzeuge mit Reisenden und dem daraus entstehenden Risiko einer Ansteckung, schafft nun die Möglichkeit die maximal mögliche Auslastung der Fahrzeuge, beispielsweise orientiert an der Virus-Basisreproduktionszahl R_0 ⁹⁴, optimal zu wählen. Insofern sieht der Autor mit dem hier vorgestellten systematischen Umgang mit Infektionsrisiken einen Beitrag zur zukünftigen, handlungsschnellen Pandemiebekämpfung bei gleichzeitiger Erhöhung der Akzeptanz von öffentlichen Verkehrsmitteln.

⁹¹ begründet u.a. durch die Verwendung gleicher Standard-Parameter

⁹² vgl. Kapitel 3.2 und Kapitel 3.3

⁹³ z.B. über bildverarbeitende Zählsysteme in den Fahrzeugen

⁹⁴ als Risiko-Grenze

Literatur und Internet

ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.), 2020

Corona und Mobilität, Internetartikel

www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/mobilitaets-trends/corona-mobilitaet/

Zugriff vom 26.02.2021

Becker, Kim Björn, 2021

Wege aus dem Lockdown, Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH, Frankfurt am Main

https://m.faz.net/aktuell/politik/inland/lockerungen-von-corona-massnahmen-rki-legt-stufenplan-vor-17214558.amp.html?GEPC=s3&__twitter_impression=true

Zugriff vom 25.02.2021

CRO, 2021

Studie zum Corona-Infektionsrisiko im ÖPNV, Charité Research Organisation, Berlin

DB/DLR, 2020

Untersuchungen zur Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Aerosolen im Fahrgastraum von Schienenfahrzeugen,

DB Systemtechnik GmbH (Kompetenzzentrum Aerodynamik und Klimatechnik) und

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (Institut für Aerodynamik und

Strömungstechnik, Abteilung Bodengebundene Fahrzeuge)

DIN 66001, 1983

Informationsverarbeitung Sinnbilder und ihre Anwendung,

Beuth Verlag Berlin

Drewnick, Frank, 2020

Abscheideeffizienz von Mund-Nasen-Schutz Masken, selbstgenähten Gesichtsmasken und potentiellen Maskenmaterialien

Max-Planck-Institut für Chemie - Abteilung Partikelchemie, Mainz

Hagen, Tobias, 2020

Verkehrswende trotz Pandemie? Mobilität und Logistik während und nach der Corona-Krise

Frankfurt University of Applied Sciences, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport

Heinrich, Ingo 2017

Planbarer Umgang mit der außerplanmäßigen Instandhaltung

Springer Gabler Verlag, Wiesbaden

Lelieveld, Jos, et al., 2020

Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments, International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel

Max-Planck-Institut für Chemie, COVID 19 Aerosol Transmission Risk Calculator, 2021

<https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>

Zugriff vom 14.02.2021

VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.), 2021

Anlage zur Jahrespressekonferenz, VDV, Köln

Abbildungsnachweis

Titelbild (groß):	Die U-Bahn-station Slussen, Urheber: olaser, istockphoto.com
Titelbild (klein 1):	Bahngleise bei Sonnenuntergang, Urheber: PatrickPoendl, istockphoto.com
Titelbild (klein 2):	Business people using pen,tablet,notebook are planning a marketing plan to improve the quality of their sales in the future,. Urheber: Jirapong, stock.adobe.com
Titelbild (klein 3):	Moderne Straßenbahn in Dijon, Urheber: bbsferrari, istockphoto.com
Titelbild (klein 4):	Locomotive at a maintenance station in Poland 2017, Urheber: Ralfik D, stock.adobe.com
Titelbild (klein 5):	Intelligent male professional pointing on colorful stickers with text message glued on wall and discussing information with creative multicultural colleagues having brainstorming meeting in office, Urheber: BullRun, stock.adobe.com
Abbildung 3.1 bis 4.1:	Stellschrauber GmbH, 2021
Abbildung 5.1:	Regionalexpress train in Frankfurt/M Station Germany, Urheber: Leonid Andronov, stock.adobe.com
Abbildung 5.1 bis 5.21:	Stellschrauber GmbH, 2021
Abbildung 5.22:	New modern city bus, Urheber: juananbarros, stock.adobe.com
Abbildung 5.23 bis 5.42	Stellschrauber GmbH, 2021
Abbildung 6.1 und 6.2	Stellschrauber GmbH, 2021

Kontakt

Stellschrauber® GmbH
Brüderstraße 6
48145 Münster

0049 251-28757118-0
info@stellschrauber.de
www.stellschrauber.de
www.twitter.com/stellschrauber_
www.linkedin.com/company/stellschrauber

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Ingo Heinrich
0049 251-28757118-100
ingo.heinrich@stellschrauber.de

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Stellschrauber GmbH. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Datenverarbeitungssystemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigen auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.