



Policy Brief

# Effektivität von Präventionsmaßnahmen für SARS-CoV2 und seine transmissibleren Varianten für eine nachhaltige Öffnung der Schulen

Jana Lasser<sup>1,2</sup>, Lukas Richter<sup>3,4</sup>, Daniela Schmid<sup>3</sup>,  
Johannes Sorger<sup>1</sup>, Stefan Thurner<sup>1,2</sup>, Peter Klimek<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Complexity Science Hub Vienna*

<sup>2</sup> *Medizinische Universität Wien*

<sup>3</sup> *Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH*

<sup>4</sup> *Technische Universität Graz*

20. Jänner 2021



---

## AutorInnen

Jana Lasser, Lukas Richter, Daniela Schmid, Johannes Sorger, Stefan Thurner, Peter Klimek

## Titel

**Effektivität von Präventionsmaßnahmen für SARS-CoV2 und seine transmissibleren Varianten für eine nachhaltige Öffnung der Schulen**

## Rückfragen

*Assoc. Prof. Priv.-Doz. Mag. Dr. Peter Klimek*

Complexity Science Hub Vienna

A-1080 Wien, Josefstädter Straße 39

T +43 (1) 59991 600

klimek@csh.ac.at

www.csh.ac.at

*Priv.-Doz. Dr<sup>a</sup> Daniela Schmid MSc*

Österreichische Agentur für Gesundheit  
und Ernährungssicherheit GmbH

A-1096 Wien, Währingerstraße 25a

Tel. +43 (0) 50 555 37304

daniela.schmid@ages.at

www.ages.at

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abstract.....	4
Hintergrund.....	5
Das Infektionsgeschehen an Österreichs Schulen .....	6
Agentenbasierte Modellierung der SARS-CoV2-Ausbreitung an Schulen .....	9
Charakteristika der modellierten Ausbrüche und weitere Modellspezifikationen .....	10
Wirksamkeit der Präventionsmaßnahmen .....	12
Bewertung der Maßnahmenbündel .....	14
Transmissiblere Virusvarianten .....	16
Interaktiver Schulsimulator.....	18
Zusammenfassung der Ergebnisse.....	19
Limitationen .....	21
Handlungsempfehlungen auf Basis der Modellierungen .....	21
Danksagung.....	23
Referenzen.....	23
Appendix A: Resultate für Schultypen und transmissiblere Varianten.....	24

## Abstract

*Um monatelanges Verharren in Lockdowns zu vermeiden, benötigen wir verbesserte Präventionskonzepte für Orte, an denen es weiterhin zu Kontakten kommen soll. Besondere gesellschaftliche und psychosoziale Bedeutung kommt dabei der nachhaltigen Öffnung von Schulen zu. Aufbauend auf AGES-Cluster-Daten im Schulsetting entwickeln wir ein agentenbasiertes Modell zur Ausbreitung von SARS-CoV2 in Österreichs Schulen. Damit kann die Wirksamkeit von Kombinationen von Präventionsmaßnahmen abgeschätzt werden: Lüften, Maskentragen während des Unterrichts, gestaffelter Unterricht sowie Screenings mittels Antigen-Schnelltests.*

*Die Berechnungen legen nahe, dass Kinder im Volksschulalter im Vergleich zu Erwachsenen (>18 Jahre) ein um 25 % reduziertes Transmissionsrisiko haben, zwischen 6 und 18 Jahren steigt es mit jedem Lebensjahr durchschnittlich um etwa 2 %. Volksschulen sind vom Infektionsgeschehen also keineswegs ausgenommen, wenngleich Ausbrüche („Cluster“) dort typischerweise kleiner sind, häufiger von Lehrkräften ausgehen und vermehrt asymptomatisch verlaufen.*

*Die Simulationen zeigen, dass mit regelmäßigem Lüften der Unterrichtsräume in Kombination mit wöchentlichen Testungen von Schüler\*innen und Lehrkräften sowie Heimabsonderung der bestätigt positiv Getesteten („Isolation“) die Ausbruchsrößen deutlich reduziert werden können. Die Mehrzahl der Infektionen führt dann zu maximal einer weiteren Transmission (Sekundärfall), nur sehr wenige Ausbrüche zu weiteren Folgefällen. Um eine vergleichbare SARS-CoV2-Verbreitungskontrolle an (Neuen) Mittelschulen, Oberstufen oder Gymnasien zu erreichen, bedarf es größerer Anstrengungen durch häufigeres Testen, gestaffelten Unterricht oder Maskentragen im Unterricht.*

*Um die transmissibleren Virus-Varianten zu kontrollieren, sind noch größere Anstrengungen erforderlich, etwa ein noch häufigeres Screening. Um die Notwendigkeit dieser Präventionsmaßnahmen zu veranschaulichen, haben wir eine leicht verständliche interaktive Version unseres Modells entwickelt, die Lehrer\*innen, Schüler\*innen und Eltern erlaubt, die eigene Schule virtuell nachzubauen (mit Schultyp, Klassenzahl und Klassengröße), und dann den Einfluss verschiedener Gegenmaßnahmen auf das Infektionsgeschehen an dieser Schule zu simulieren. Das Modell macht erfahrbar, wie Übertragung an Schulen passiert und welche Maßnahmen wie gut wirken.*

## Hintergrund

Zu Beginn der Pandemie haben harte Lockdowns die Anstiege in den Fallzahlen merklich gebremst. Diese Kontrollmöglichkeit kommt uns durch die zunehmende Pandemiemüdigkeit der österreichischen Bevölkerung momentan abhanden. Das lässt sich etwa an Bewegungsdaten zeigen: Die Auswertung anonymisierter aggregierter Mobilfunkdaten zeigt, dass die österreichische Bevölkerung bei Verhängung des ersten harten Lockdowns am 16. 3. ihren durchschnittlichen Bewegungsradius unmittelbar um 71 % (Standardabweichung [SD] 11 %)<sup>1</sup> reduzierte. Beim zweiten harten Lockdown am 17. 11. waren es 44 % (SD 12 %), beim dritten am 26. 12. nur noch 27 % (SD 17 %).

Wir benötigen also neue Werkzeuge und Strategien, um sicher durch den restlichen Winter und das Frühjahr 2021 zu kommen. Mit einer Entlastung durch die gerade anlaufenden Impfungen ist in diesem Zeitraum keinesfalls zu rechnen: Die Impfungen in Phase I (in Alten- und Pflegeheimen) werden die Zahl der Todesfälle deutlich verringern, mit der Impfung der Risikopopulationen in Phase II sollte die Wahrscheinlichkeit für schwere Verläufe reduziert werden. Doch mit einer Auswirkung auf die Epidemiekurve durch Herdenimmunität ist frühestens im Sommer, tief in Phase III mit der Impfung der breiten Bevölkerung, zu rechnen – vorausgesetzt, dass die Impfung auch vor Übertragung schützt.

Die Forschung zu SARS-CoV2 hat nicht nur bei der Impfstoffentwicklung rapide Fortschritte gemacht, sondern auch bei neuen Testverfahren, etwa bei den Antigen-Schnelltests (AG) die bald auch für den Heimgebrauch zur Verfügung stehen könnten [4]. Modellierungen zeigen, dass die im Vergleich zu PCR-basierten Testverfahren niedrigere Sensitivität von AG-Schnelltests durch häufiges und regelmäßiges Screening asymptomatischer Personen auf SARS-CoV2 wettgemacht werden kann [5].

**→ Die gezielte Kombination von Maßnahmenbündeln in speziellen Settings (Alten-, Pflegeheimen, Schulen) eröffnet neue Strategien zur Kontrolle der Pandemie, die nicht auf einem Reduzieren, sondern auf einem Sicherer-Machen von Kontakten beruhen [6].**

In diesem Policy Brief versuchen wir mittels eines agentenbasierten Modells anzugeben, wie stark einzelne Maßnahmen (AG-Schnelltests für Schüler\*innen und Lehrer\*innen wöchentlich oder zweimal wöchentlich, das Tragen von Mund-Nasen-Schutzmasken, das Teilen von Klassen und Lüften) und deren Kombination im Schulsetting wirken. Im Speziellen zeigen wir, welche möglichen Maßnahmenkombinationen das Infektionsverbreitungsgeschehen in den in Österreich existierenden Schulen auf ein bestimmtes Maß reduzieren können. Das Modell baut auf konkreten schulischen Gegebenheiten auf und basiert auf von der AGES durchgeführten Clusteranalysen. Zusätzlich

---

<sup>1</sup> Wir betrachten den Median des Bewegungsradius (Gyrationsradius) in einer Region, aufgelöst nach Postleitzahl, über einen Zeitraum von zehn Tagen nach Einführung des Lockdowns und vergleichen mit dem Mittelwert der Mediane, die zwei, drei und vier Wochen vor dem Lockdown beobachtet wurden. Es wurden nur Regionen mit zumindest 1 000 Handynutzer\*innen betrachtet.

berechnen wir, wie sich die Wirkung der Schutzmaßnahmen bei Ausbrüchen von SARS-CoV2-Varianten mit erhöhter Transmissibilität verändert.

## Das Infektionsgeschehen an Österreichs Schulen

Die Identifikation der Cluster von SARS-CoV2-Fällen erfolgt seit Beginn der Epidemie durch die AGES, Abteilung für Infektionsepidemiologie & Surveillance. Ein Cluster besteht aus mindestens zwei Fällen, die als Transmissionspaar („infector“ und „infectee“) in einer epidemiologischen Beziehung stehen. Als Grundlage für die Zusammenführung der Fälle zu Clustern dienen Daten zu Erkrankungsbeginn (wie bekannt zum Zeitpunkt der Erhebung) und Daten über den infektionsepidemiologisch relevanten Kontakt (Datum und Setting der wahrscheinlichen Transmission), wie diese von der Behörde mittels eines von der AGES vorgegebenen standardisierten Fragebogens erhoben werden. Das Setting der Transmission ist vordefiniert als „Bildungseinrichtung“ (d. h. Schule), „Freizeit“, „Arbeitsstätte“, „Kulturveranstaltungen“, „Sport“, „Transport“ und „Haushalt“. Diese Daten werden von der Behörde in das epidemiologische Meldesystem (EMS) eingepflegt und von der AGES ergänzt.

Als Indexfall gilt der erste diagnostizierte Erkrankungsfall in einem Cluster. Als Primärfall eines Bildungsclusters („Bildungseinrichtung-Primärfall“, Indexfall) bezeichnen wir jenen Fall, von dem aufgrund des frühesten Erkrankungsdatums angenommen wird, dass er das Virus in die Bildungseinrichtung eingebracht hat.

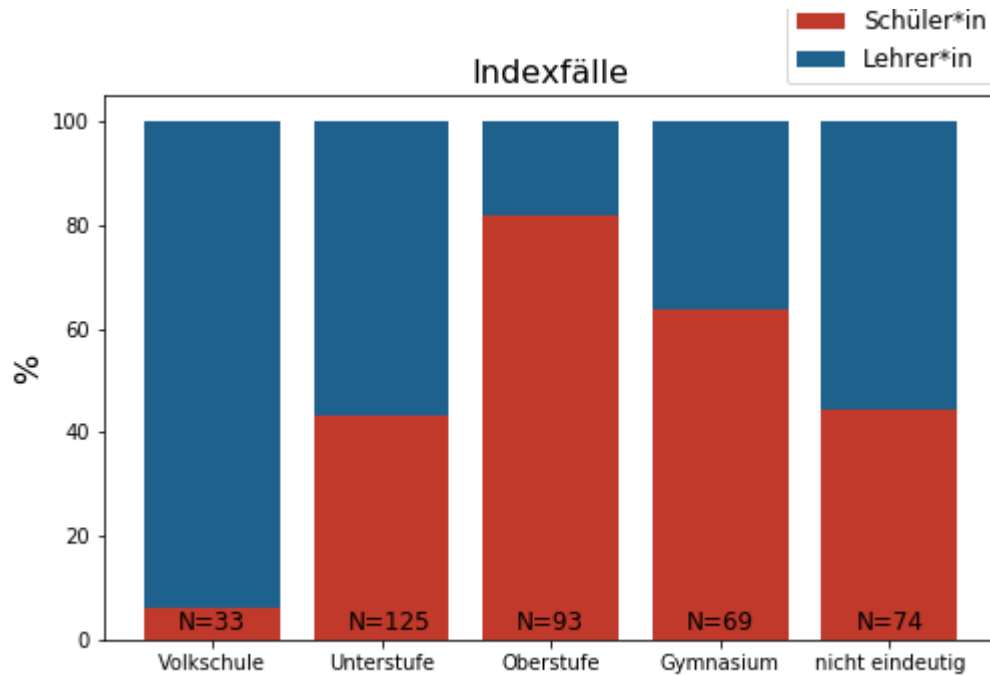
In dieser Datenanalyse betrachten wir im Setting Schule 616 Cluster mit mindestens einem Transmissionspaar mit Beginn in den Kalenderwochen 36 bis 45. Als Beginn eines Clusters ist das Datum des Indexfalls definiert. Die 616 Cluster umfassen 9 232 SARS-CoV2-Fälle, von denen 2 822 als Schüler\*innen und 676 als Lehrer\*innen identifiziert wurden (die restlichen Fälle beziehen sich unter anderem auf Personen in deren Haushalte). Jeder Cluster wurde einem der Schultypen „Volksschule“, „Unterstufe“, „Oberstufe“, „Gymnasium“ oder „nicht eindeutig“ zugeordnet. Da genaue Informationen zum Schultyp zum Zeitpunkt der Analyse nicht vorlagen, erfolgte die Einstufung folgendermaßen:

- a. Volksschule: Alter aller betroffenen Schüler\*innen im Cluster kleiner gleich 10.
- b. Unterstufe: Alter aller betroffenen Schüler\*innen im Cluster größer gleich 10 und kleiner gleich 15.
- c. Oberstufe: Alter aller betroffenen Schüler\*innen größer gleich 15.
- d. Gymnasium: Alter aller betroffenen Schüler\*innen größer gleich 10.
- e. nicht eindeutig: alle anderen Fälle

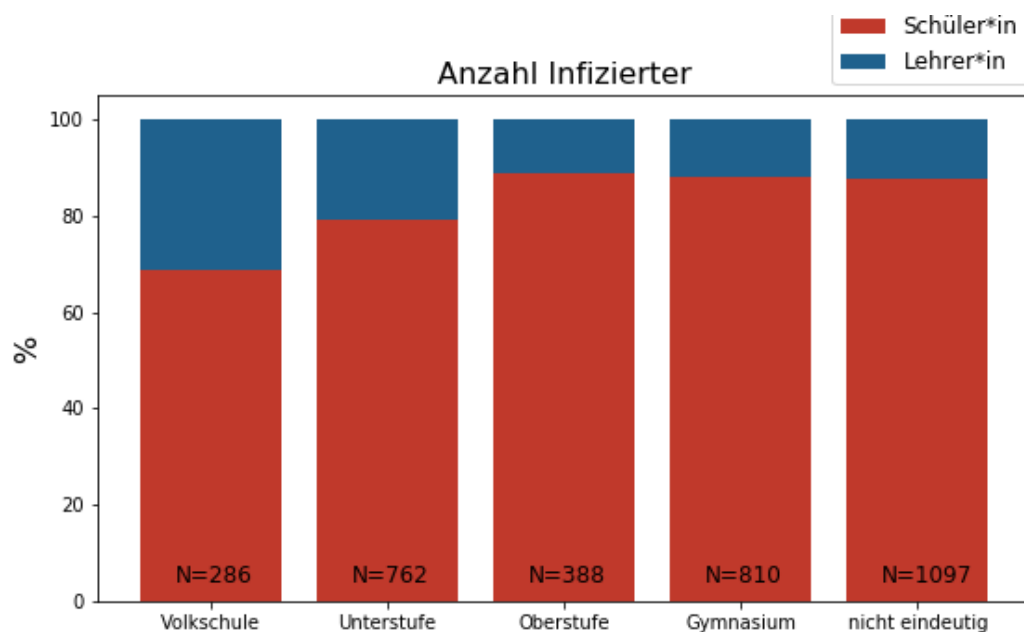
Insgesamt konnten 286 Fälle dem Schultyp Volksschule zugeordnet werden, 762 einer Unterstufe, 388 einer Oberstufe und 810 der Ober-/Unterstufe eines Gymnasiums (bei 1 252 Fällen war keine eindeutige Zuordnung möglich, etwa weil innerhalb eines Clusters Schüler\*innen zwischen 6 und 18 Jahren betroffen waren).

Abbildung 1 zeigt für jeden Schultyp den relativen Anteil aller Cluster, in denen der „Bildungseinrichtung-Primärfall“ eine Lehrkraft bzw. ein Schüler oder eine Schülerin war. Für 222

Cluster war der Bildungseinrichtung-Primärfall eine erwachsene Person, die weder Schüler\*in noch Lehrer\*in war. Während in Volksschulen mehr als 90 % der Cluster von Lehrkräften ihren Ausgang nahmen, lag dieser Anteil bei den Oberstufe-Clustern nur noch bei knapp 20 %.



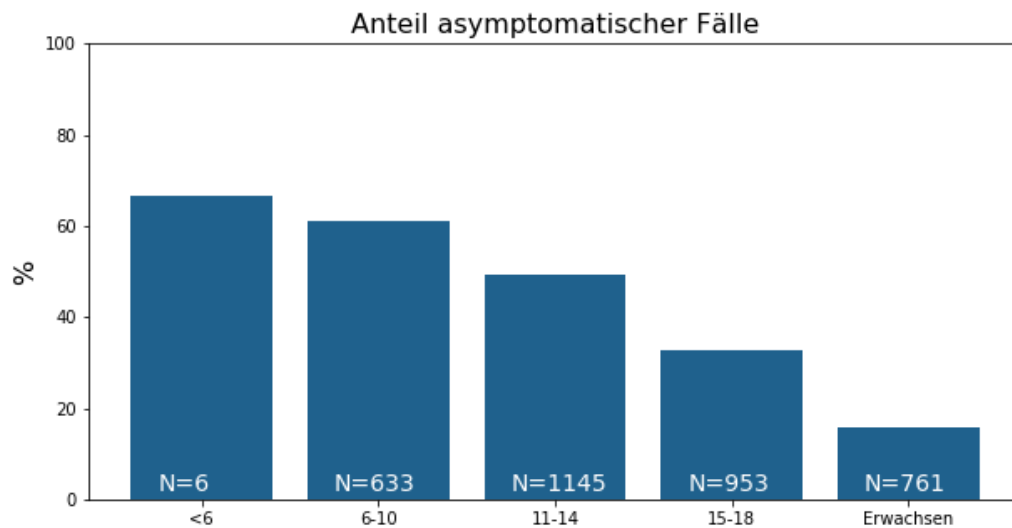
**Abbildung 1:** Anteil der Cluster nach Schultyp, die ihren Ausgang von einer Lehrkraft (blau) oder einem Schüler bzw. einer Schülerin nahmen (rot).



**Abbildung 2:** Anteil der infizierten Schüler\*innen (rot) und Lehrer\*innen (blau) nach Schultyp.

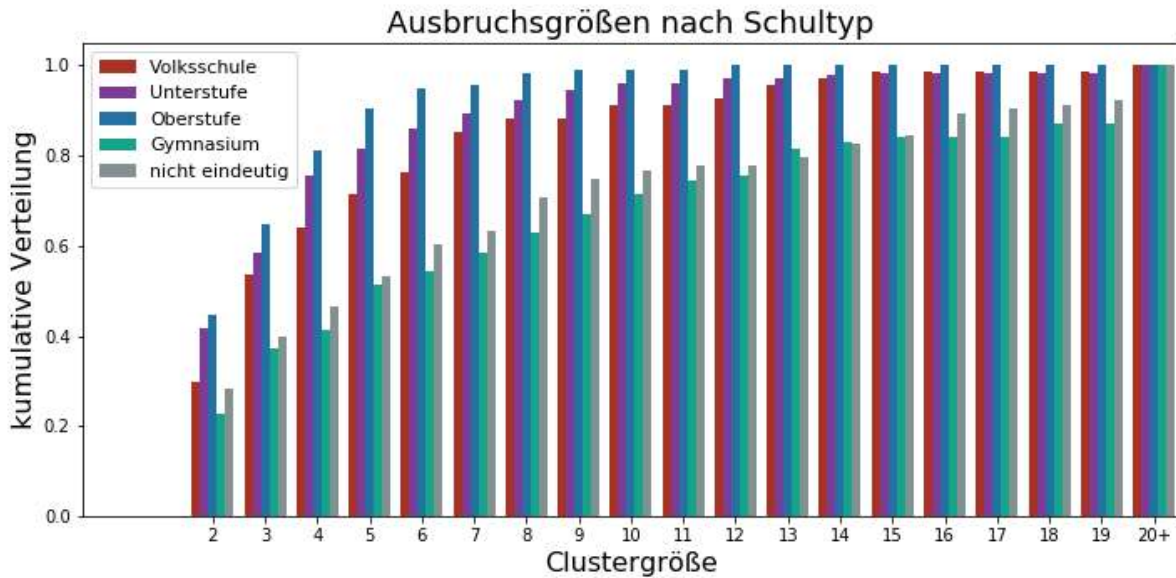
In Volksschulen und Unterstufen sind im Vergleich zu Gymnasien und Oberstufen deutlich mehr Lehrkräfte in Ausbrüche involviert (siehe Abbildung 2).

Der Anteil der asymptomatischen Fälle (zum Zeitpunkt der Erhebung durch die Behörde) variiert stark mit dem Alter (siehe Abb. 3). Während etwa die Hälfte aller Fälle bei Volksschüler\*innen (Alter <6 J) asymptomatisch war, beträgt der Anteil unter den Erwachsenen (Lehrer\*innen und Schüler\*innen älter als 18 J) nur knapp 20 %.



**Abbildung 3:** Anteil der asymptomatischen Fälle nach Altersgruppe.

Abbildung 4 zeigt die kumulative Verteilung der Ausbruchsgrößen, die sich nur auf die Übertragungen im Schulsetting beziehen (Anzahl der Fälle pro Schulcluster mit Übertragung in der Schule). Dabei zeigt sich, dass die meisten Ausbrüche klein sind. Die Anzahl der Cluster mit wesentlich mehr Fällen ist aber nicht zu vernachlässigen. Die Anteile der Cluster mit 2, 3–9; 10–19 und 20+ Fällen liegen bei 40 %, 49 %, 8 % und 3 %. Je schneller die Kurve der kumulativen Verteilung für einen bestimmten Schultyp ansteigt, desto kleiner sind dort typischerweise die Ausbrüche. Die größten Ausbrüche treten an Gymnasien sowie nicht eindeutig zuordenbaren Schulen auf. Bei den anderen Schultypen führte nur ein geringer Anteil der Ausbrüche zu mehr als zehn Fällen.



**Abbildung 4:** Kumulative Verteilung der Ausbruchsrößen nach Schultyp. Die Ausbruchsröße inkludiert hierbei immer auch den Indexfall.

Je jünger die Schüler\*innen, desto wahrscheinlicher ist es, dass Cluster ihren Ausgang von der Lehrkraft nehmen und umso wahrscheinlicher verläuft die Infektion bei den Schülern\*innen asymptomatisch. In der Verteilung der Fälle spiegelt sich zusätzlich die typische Schulgröße wider: So haben österreichische Gymnasien durchschnittlich 28 Klassen mit je 24 Schüler\*innen; Oberstufen zehn Klassen mit je 23 Schüler\*innen [7].

## Agentenbasierte Modellierung der SARS-CoV2-Ausbreitung an Schulen

Die Daten der AGES-Clusteranalyse erlauben eine feinkörnige Kalibrierung von Modellen, welche die Ausbreitung von Infektionen an Schulen beschreiben. Dazu erweiterten wir ein kürzlich am CSH entwickeltes agentenbasiertes Modell für Alten-Pflegeheime [6] auf die Beschreibung des Infektionsgeschehens an Schulen. Im Modell sind alle Lehrer\*innen und Schüler\*innen einer Schule inklusive ihrer zugeordneten Haushalte mit ihren spezifischen, zeitabhängigen Kontaktnetzwerken repräsentiert. Konkret finden Kontakte in der Schulklasse, bei der Nachmittagsbetreuung, bei Treffen unter Lehrer\*innen sowie in den Haushalten mit jeweils unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten statt. Das Modell simuliert für jeden Schultag einen realistischen Schultyp-spezifischen Stundenplan, in dem Lehrkräfte von Stunde zu Stunde unterschiedliche Klassen unterrichten und sich dazwischen im Lehrerzimmer begegnen können; am Wochenende findet kein Unterricht statt. Als unterschiedliche Schultypen berücksichtigen wir Volksschulen (VS), Volksschulen mit Ganztagesbetreuung (GTB), (Neue) Mittelschulen (NMS), Mittelschulen mit Ganztagesbetreuung sowie Oberstufen (OS) und Gymnasien (GYM).

In diesem Modell können folgende Maßnahmen zur Infektionsprävention berücksichtigt werden: Lüften (1x pro Unterrichtsstunde), MNS-Masken-Tragen der Lehrkräfte und/oder Schüler\*innen

während des Unterrichts (es wird davon ausgegangen, dass MNS-Masken außerhalb des Unterrichts beim Betreten oder Verlassen der Klassen oder in den Pausen getragen werden) sowie ein Halbieren der Klassen und gestaffelter Unterricht, wobei jede Klassenhälfte nur jeden zweiten Tag in die Schule kommt. Zusätzlich bilden wir unterschiedliche Strategien zum Screening mittels AG-Schnelltestungen ab, wobei sich entweder Schüler\*innen und/oder Lehrer\*innen einmal (montags) oder zweimal (montags und donnerstags) pro Woche testen lassen. Im Modell wird die Annahme gemacht, dass alle Schüler-/Lehrer\*innen tatsächlich beim Testen mitmachen. In diesem Sinne sind unsere Ergebnisse als Best-Case-Szenarien zu sehen.

Zur Kalibrierung des Modells wurden die notwendigen Parameter entweder der Literatur entnommen (insbesondere die Wirksamkeit von Lüften und Masken-Tragen sowie epidemiologische Parameter wie die Dauer einer Infektion) oder mittels einer Parameteroptimierung so eingestellt, dass die tatsächlich beobachtete Ausbreitungsdynamik je nach Schultyp und Alter am besten reproduziert werden kann.

Zur weiteren Validierung der Modellannahmen führten wir eine Reihe von Interviews mit Direktor\*innen und Lehrer\*innen unterschiedlicher Schultypen durch. Eine genaue technische Beschreibung in Form einer wissenschaftlichen Publikation ist in Vorbereitung, der Quellcode des Modells sowie seine Beschreibung ist [online verfügbar](#) [8].

## **Charakteristika der modellierten Ausbrüche und weitere Modellspezifikationen**

Im Modell wird zwischen verschiedenen Kontakttypen unterschieden, die sich an der internationalen Definition von Kontaktspezifikation orientieren: intensivere Kontakte (K1), z. B. ein längeres Treffen zwischen zwei Lehrkräften oder Schüler\*innen (etwa Sitz-Nachbarschaften); weniger intensive Kontakte (K2), z. B. ein kurzes Treffen zwischen zwei Lehrkräften in der Kaffeeküche oder der Kontakt zwischen zwei Schüler\*innen derselben Klasse, die nicht nebeneinandersitzen. Darüber hinaus gibt es „Haushaltskontakte“ als dritten Kontakttyp, der zwischen allen Mitgliedern desselben Haushalts stattfindet. Für Haushaltsmitglieder ist aus der Literatur bekannt, dass eine Wahrscheinlichkeit von etwa 40 % besteht, von einem anderen infizierten Haushaltsmitglied angesteckt zu werden [9]. Im Mittel ergibt das über den Verlauf der Krankheit der infizierten Person pro Tag ein Risiko von etwa 7 %, ein weiteres Haushaltsmitglied anzustecken.

In unserem Modell gehen wir davon aus, dass das Transmissionsrisiko (Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Kontakt zwischen infektiöser und suszeptibler Person zu einer Übertragung des Virus kommt) bei K1- und K2-Kontakten geringer ist als bei Haushaltskontakten. Die genaue Reduktion des Transmissionsrisikos wird in unserem Modell so kalibriert, dass die im Modell simulierten Ausbruchsrößen möglichst nahe an die empirisch im Schulsetting beobachteten Ausbruchsrößen herankommen. Darüber hinaus gibt es in der Literatur vermehrt Hinweise darauf, dass Kinder sowohl ein vermindertes Risiko haben, das Virus zu übertragen, als auch selbst infiziert zu werden [10]. Die Reduktion des Transmissionsrisikos von Kindern nach Alter ist ein weiterer Parameter, der im Modell kalibriert wird.

Nach Optimierung des alters- und kontaktabhängigen Transmissionsrisikos (K1, K2) in unserem Modell zeigt sich, dass eine altersabhängige Reduktion des Transmissionsrisikos von 2 % pro Lebensjahr bei Kindern unter 18 die empirisch beobachteten Daten am besten widerspiegelt. **Entsprechend hat ein Kind in der ersten Klasse Volksschule im Vergleich zu Erwachsenen (>18 Jahre) ein um etwa 25 % reduziertes Risiko eines Infektionserwerbs oder einer Infektionstransmission.** Für das Transmissionsrisiko von K1- und K2-Kontakten zeigt sich, dass K1-Kontakte im Vergleich zu Haushaltskontakten eine um etwa 15 % reduzierte Wahrscheinlichkeit haben, zu einer Infektion zu führen. Bei K2-Kontakten ist die Wahrscheinlichkeit um etwa 25 % niedriger.

Um die Ausbreitung von Virusvarianten mit erhöhter Transmissibilität zu modellieren, führen wir einen variablen Faktor ein, um den sich die oben beschriebenen Risiken eines Infektionserwerbs oder einer Infektionstransmission erhöhen. Für die Variante B.1.1.7 wird etwa auf Basis bevölkerungsweiter statistischer Modellierungen für englische Regionen momentan angenommen, dass die Transmissibilität um 50–74 % erhöht ist [3].

Ein wichtiger, in der Simulation modellierter Aspekt ist das Testen mit verschiedenen Testverfahren. Diese unterscheiden sich sowohl in ihrer Genauigkeit (in Abhängigkeit von der Viruslast der getesteten Person) als auch in der Zeit, die sie benötigen, um ein Ergebnis zu liefern. Für die Simulationen im Schulsetting modellieren wir zwei Testverfahren: PCR-Tests und AG-Tests. PCR-Tests können SARS-CoV2 früh im Verlauf der Infektion detektieren (etwa vier Tage nach Virusexposition), während AG-Tests eine Infektion erst später (etwa zwei Tage vor Erkrankungsbeginn) nachweisen können. Dafür liefern AG-Tests innerhalb von 15 bis 30 Minuten ein Ergebnis, während das Ergebnis eines PCR-Tests oft erst nach bis zu zwei Tagen verfügbar ist. Die Zeit bis zum Eintreffen des Testergebnisses ist wesentlich für eine frühestmögliche Kontaktnachverfolgung („contact tracing“) und die entsprechende Quarantäne von Kontaktpersonen infizierter Personen.

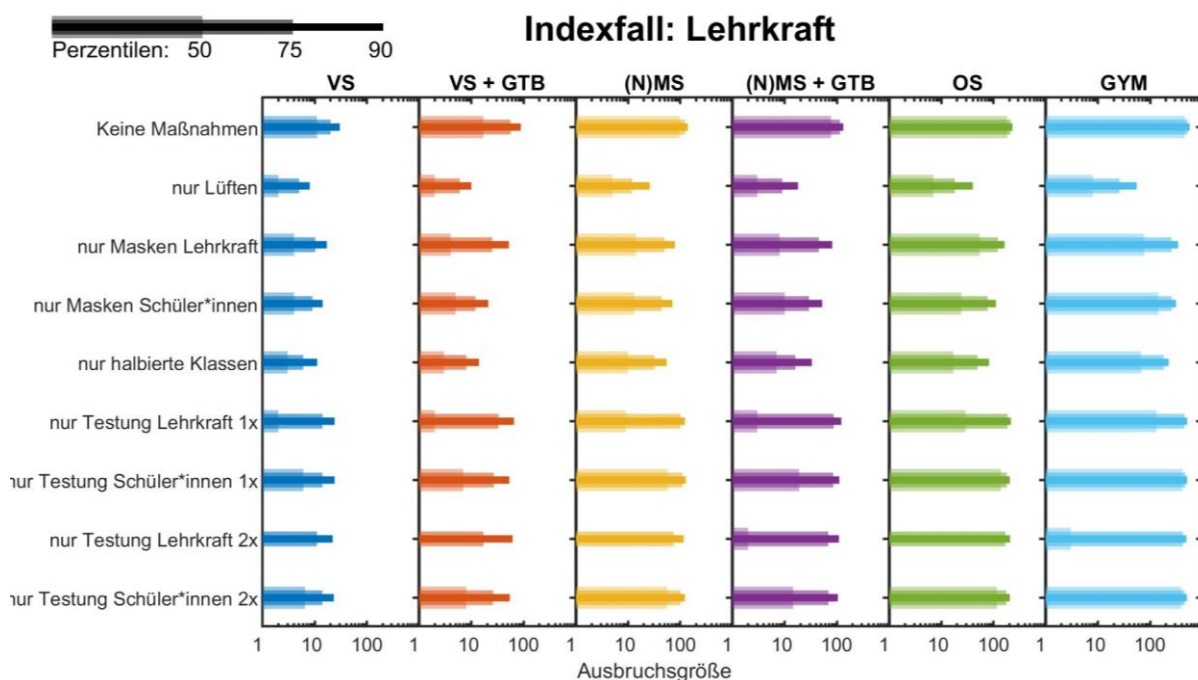
Wir nehmen hier an, dass für den Zeitraum, in dem die Viruslast hoch genug ist, die Sensitivität und Spezifität beider Testverfahren 100 % und für den Zeitraum, in dem die Viruslast noch nicht oder nicht mehr hoch genug ist, 0 % beträgt. In der Simulation kommen PCR-Tests in zwei Fällen zum Einsatz: für die Untersuchung symptomatischer Personen auf SARS-CoV2 (diagnostisches Testen) sowie im Nachgang einer positiv getesteten Person zur Untersuchung des Schulumfelds („background screen“). Darüber hinaus werden Schüler\*innen und/oder Lehrer\*innen je nach Präventionsstrategie regelmäßig mit AG-Tests getestet (präventives Testen).

Für die zur Kalibrierung durchgeführten Simulationen benutzen wir ein Bündel an Präventionsmaßnahmen, das die in KW 35–46 (vor dem zweiten Lockdown bzw. vor den Herbstferien) gesetzten Präventionsmaßnahmen an Schulen widerspiegelt, da aus diesem Zeitraum auch die Beobachtungen zu Clustern im Schulsetting stammen. Die diesbezüglich getroffenen Annahmen stützen sich sowohl auf die zu diesem Zeitpunkt für Schulen gültige Verordnung als auch die von uns eingeholten Erfahrungsberichte von Lehrer\*innen und Direktor\*innen: Es wurde *nur diagnostisch* getestet mit jenen PCR-Testverfahren, bei denen durchschnittlich nach einem Tag das Ergebnis verfügbar war. Bei Identifikation eines Falles einer bestätigten SARS-CoV2-Infektion wurden sowohl Haushaltsmitglieder als auch K1-Kontakte für zehn Tage quarantänisiert. Schüler\*innen und Lehrer\*innen haben mehrheitlich während des Unterrichts keine MNS-Masken getragen, dafür wurde einmal pro Schulstunde gelüftet. Die Schulklassen waren vollständig in Präsenz anwesend. Kontakte

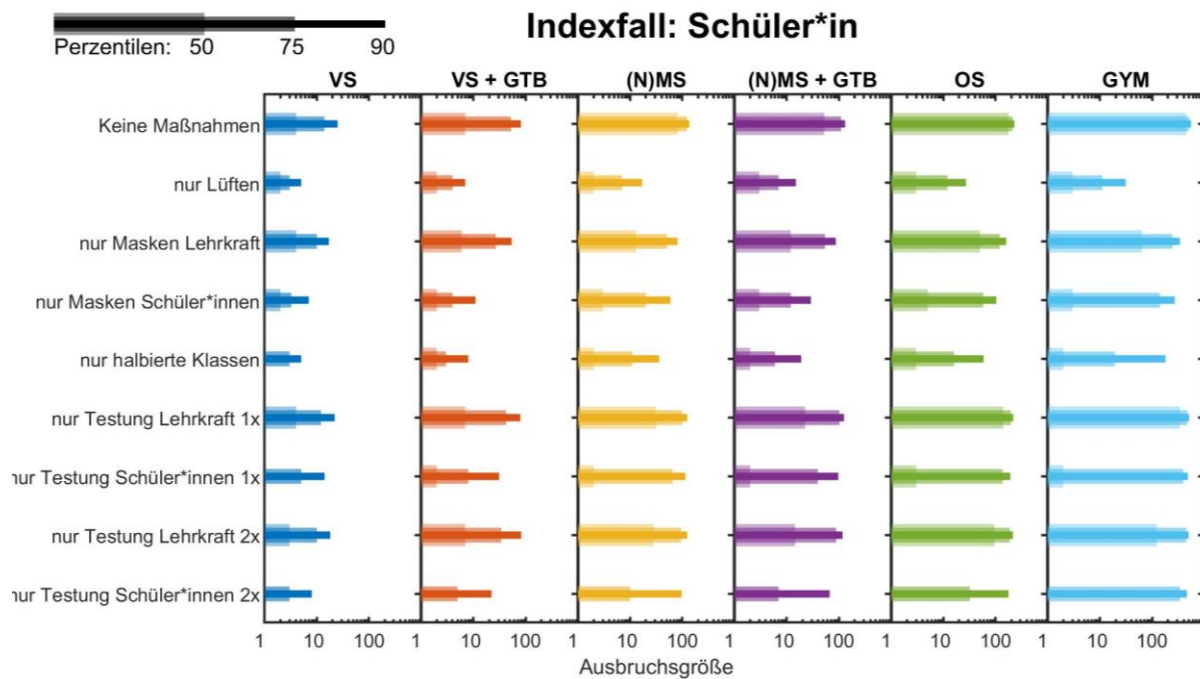
zwischen Schüler\*innen verschiedener Klassen wurden weitestgehend vermieden durch verschiedene Maßnahmen wie gestaffelten Unterrichtsstart oder Regeln für den Aufenthalt in gemeinsam genutzten Räumlichkeiten. Darüber hinaus wurden außerhalb der Klassenräume von Schüler\*innen und Lehrer\*innen MNS-Masken getragen. Für die Kalibrierung wurden Indexfälle gemäß der empirisch beobachteten Verteilung der Indexfälle auf Schüler\*innen und Lehrer\*innen je nach Schultyp gewählt.

## Wirksamkeit der Präventionsmaßnahmen

Zur Bewertung der Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen betrachten wir nun eine repräsentative Schule für jeden Schultyp, was Größe und Anzahl der Klassen betrifft. Die Charakteristika der verschiedenen Schultypen wurden dabei der Schulstatistik 2017/18 entnommen [7]. In der Simulation wird entweder eine Lehrkraft oder ein/e Schüler\*in als Ausgangspunkt eines Ausbruchs angenommen (Indexfall) und dann die Verteilung der Ausbruchsrößen unter gegebenen Maßnahmen berechnet. Die Ausbruchsröße ist dabei als Anzahl der positiv auf SARS-CoV2 getesteten Personen definiert, deren Infektion in Zusammenhang mit dem Indexfall steht. Dabei werden positiv getestete Lehrer\*innen, Schüler\*innen sowie deren Familienmitglieder zusammengezählt. Als typische Ausbruchsröße bezeichnen wir im Folgenden den Median der Verteilung der Größen der Ausbrüche aus je 500 Simulationen.



**Abbildung 5:** Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen an unterschiedlichen Schultypen für Ausbrüche mit Lehrer\*innen als Indexfall. Je nach Schultyp geben wir auf einer logarithmischen Skala an, unterhalb welcher Gesamtfallzahl 50 % (Median), 75 % bzw. 90 % der Ausbrüche in der Simulation liegen (Perzentile der Verteilung der Ausbruchsrößen, dargestellt mit unterschiedlich dicken Linien). Das berechnen wir für den Fall, dass keinerlei Maßnahmen gesetzt wurden (erste Zeile) sowie dass nur eine einzige Maßnahme gesetzt wurde (nachfolgende Zeilen).



**Abbildung 6:** Wie Abbildung 5, mit Schüler\*innen als Indexfall.

Abbildungen 5 und 6 zeigen die Resultate zur Wirksamkeit **einzelner Präventionsmaßnahmen** im Vergleich zu einem Szenario, in dem keine einzige Maßnahme gesetzt wurde. Im Allgemeinen finden wir die kleinsten Ausbrüche in Volksschulen und die größten in Gymnasien, dazwischen stufen sich die Ausbrüche proportional zum typischen Alter der Schüler ab.

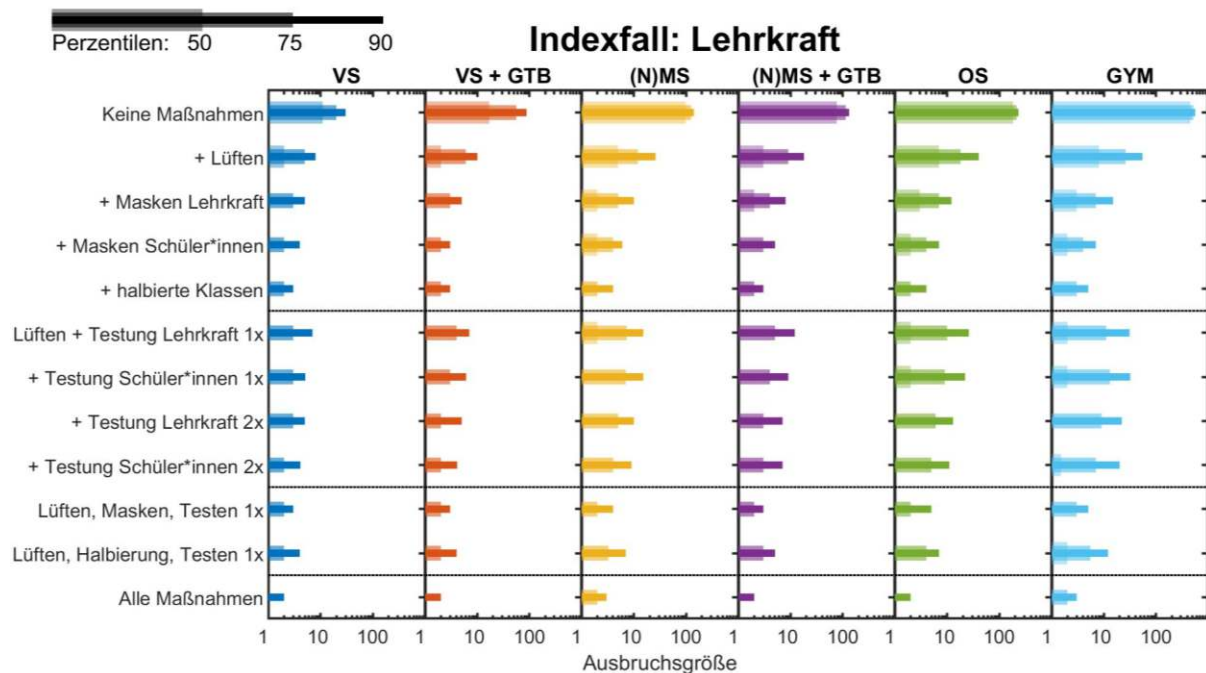
**Ohne Präventionsmaßnahmen** führt etwa ein Ausbruch in einem Gymnasium mit mehr als 50 % Wahrscheinlichkeit zu mehr als 500 Fällen, unabhängig davon, ob der Ausbruch von Schüler\*innen (typische Ausbruchgröße mit 509 Fällen) oder Lehrkräften (518 Fälle) seinen Ausgang hatte. Bei Volksschulen ohne jegliche Präventionsmaßnahmen führt der Lehrer\*innen-Indexfall zu größeren Ausbrüchen als der Schüler\*innen-Indexfall mit Medianen von elf respektive vier Fällen. 10 % der Ausbrüche wären ohne Präventionsmaßnahmen in Volksschulen größer als 25 (Indexfall Schüler\*in) bzw. 30 (Indexfall Lehrer\*in).

**Lüften** stellt in allen Schultypen eine hochwirksame Maßnahme dar. Für Volksschulen wird dabei die 90. Perzentile auf fünf bzw. acht Fälle reduziert, für Schüler\*innen bzw. Lehrer\*innen als Indexfall; in der Oberstufe von mehr als 500 auf 31 bzw. 55 Fälle. Auch die **Halbierung der Klassengröße** zeigt eine deutliche Wirkung. Hierbei ist zu betonen, dass wir in der Rechnung annehmen, dass jene Hälfte der Schüler\*innen, die an einem bestimmten Tag nicht am Unterricht in der Schule teilnimmt, tatsächlich zu Hause ist und nicht in Betreuung an der Schule. Das Tragen von MNS-Masken von Schüler\*innen oder Lehrer\*innen reduziert die Größe von Ausbrüchen, bei denen die jeweilige Gruppe als Indexfall auftritt, besonders deutlich, wenngleich auch zu einem geringeren Maß als Lüften oder die Halbierung der Klassengrößen und Staffelung des Unterrichts.

Die präventive Wirkung von **AG-Testungen** bei Schüler\*innen oder Lehrer\*innen reduziert ebenfalls in erster Linie die Größe von Ausbrüchen, bei denen diese als Indexfall auftreten. Bereits mit einmaliger Testung reduziert sich die typische Ausbruchgröße in Volksschulen von elf auf zwei Fälle (sowohl beim Screening von Lehrkräften als auch beim Screening von Schüler\*innen). Es könnten aber nach wie vor große Ausbrüche auftreten, wenn sonst keine anderen Maßnahmen ergriffen werden. 25 % der Ausbrüche in Gymnasien sind größer als 338 (Indexfall Schüler\*in) oder 419 (Lehrkräfte) Fälle, selbst wenn in der entsprechenden Gruppe zweimal pro Woche getestet wird. Die Wirkung unter den Schüler\*innen ist dabei etwas höher als die Wirkung bei den Lehrenden.

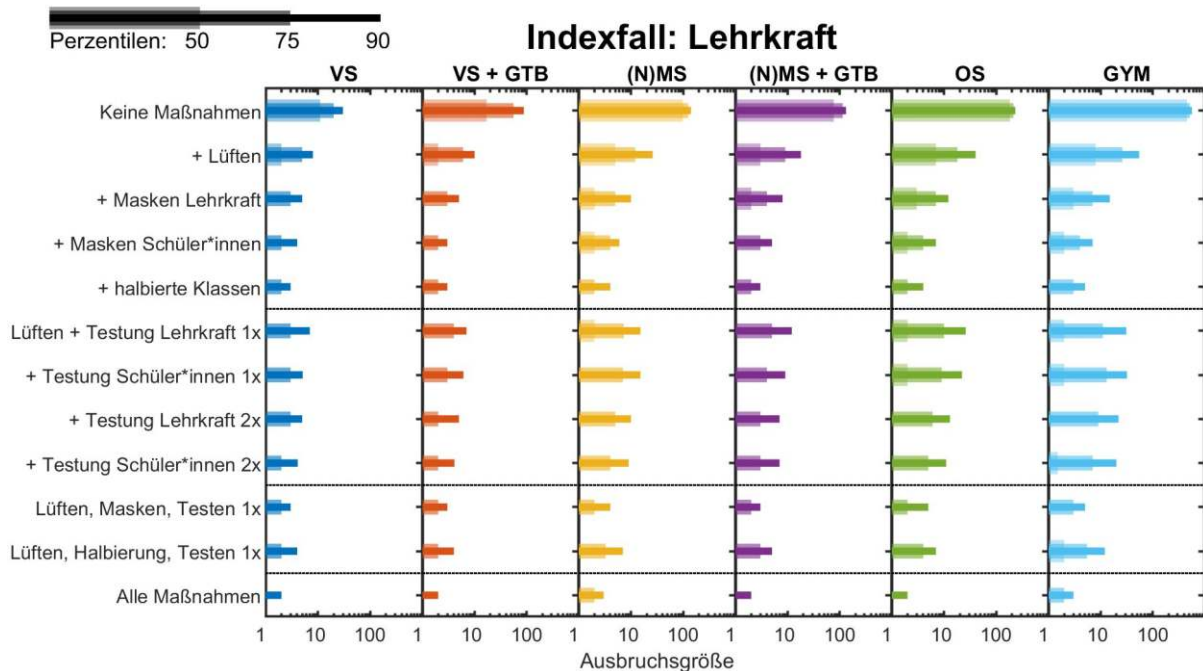
## Bewertung der Maßnahmenbündel

Das Simulationsmodell erlaubt das Bewerten von Präventionsmaßnahmen-Paketen (siehe Abbildungen 7 und 8). Wir untersuchen die folgenden Szenarien im Vergleich zu einem, in dem keine Präventionsmaßnahmen gesetzt werden. In jedem Vergleichsszenario gehen wir davon aus, dass einmal pro Unterrichtsstunde gelüftet wird. Dann schalten wir weitere Maßnahmen dazu: Zuerst untersuchen wir den Effekt einer MNS-Maskenpflicht für Lehrkräfte während des Unterrichts. Der nächste zusätzliche simulierte Präventionsschritt ist die MNS-Maskenpflicht für Schüler\*innen im Unterricht, gefolgt von der Halbierung der Klassengröße. Das vergleichen wir mit dem Effekt, der durch Lüften und AG-Tests alleine erreicht werden kann (also ohne MNS-Masken im Unterricht oder Halbierung der Klassengröße und gestaffelten Unterricht). Schließlich betrachten wir ein Szenario, in dem alle untersuchten Maßnahmen in Kombination verwendet werden.



**Abbildung 7:** Bewertung von Maßnahmenbündeln. Ähnlich wie in den vorigen Abbildungen zeigen wir die typische Ausbruchgröße (fette Linie, Median) sowie die 75. und 90. Perzentile der entsprechenden

Verteilungen. Wir betrachten den Fall, dass keine Maßnahmen gesetzt werden (erste Zeile), sowie unterschiedliche Maßnahmenbündel durch schrittweises Hinzuschalten von Maßnahmen ohne Tests, Bündeln mit Lüften und Testscreenings sowie Szenarien, die Lüften, Masken, gestaffelten Unterricht und Tests kombinieren. Als Indexfall betrachten wir hier jeweils die Lehrkräfte.



**Abbildung 8:** Wie Abbildung 7, für Schüler\*innen als Indexfall.

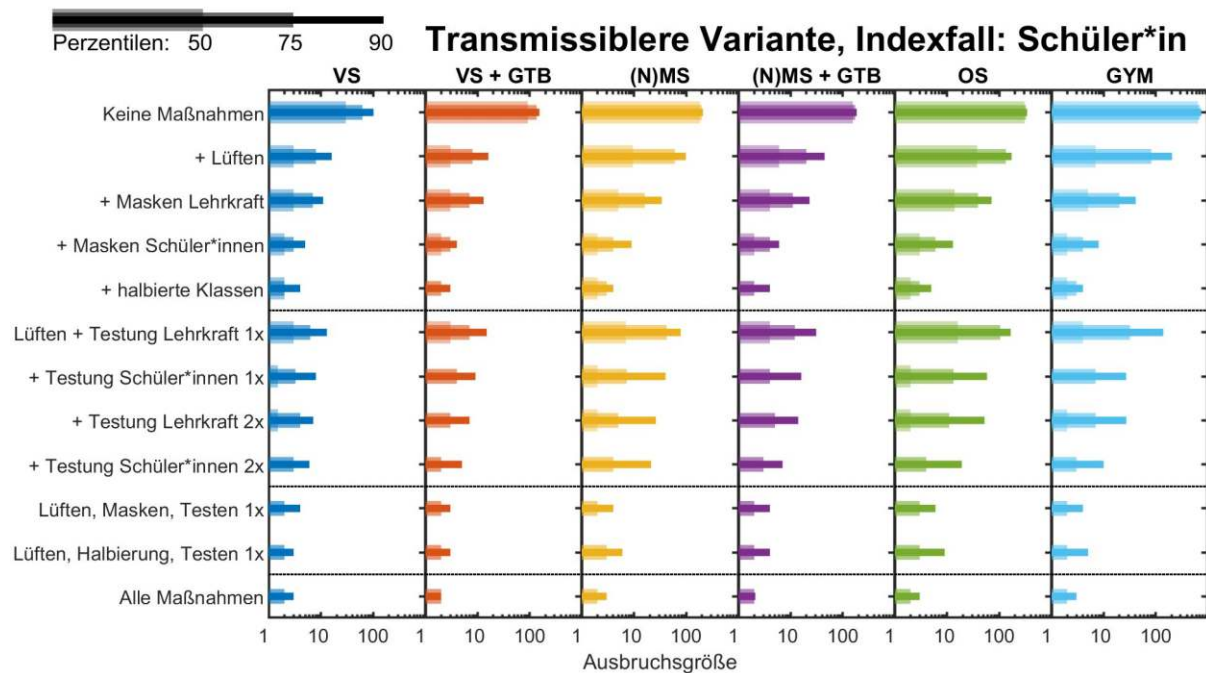
Zusätzlich zum Lüften reduziert in den meisten Schultypen das Tragen von MNS-Masken die Ausbruchgröße, sodass nur mehr 10 % oder weniger der Ausbrüche zu mehr als fünf (Indexfall Schüler\*in) bzw. sieben (Indexfall Lehrer\*in) Ausbruchsfällen führt; die typische Ausbruchgröße reduziert sich auf eins. Das heißt, der Indexfall steckt keine weitere(n) Person(en) an, ein Ausbruch wurde also gänzlich verhindert. In Gymnasien ist dies dann der Fall, wenn zusätzlich zu den MNS-Masken auch noch die Schulklassen halbiert werden. Sollten nur Lehrer\*innen, aber nicht Schüler\*innen im Unterricht MNS-Masken tragen, umfassen 10 % der Ausbrüche an Gymnasien immer noch mehr als 15 Fälle (Indexfall Lehrer\*in) bzw. 13 Fälle (Indexfall Schüler\*in). Die typischen Ausbrüche haben dann eine Größe von jeweils zwei Fällen.

Screening-Testungen von Lehrer\*innen mit einer Frequenz von einmal pro Woche reduzieren in erster Linie die Größe von Ausbrüchen mit Lehrer\*innen als Indexfall; Ausbrüche mit Schüler\*innen als Indexfall werden wesentlich weniger reduziert. Wenn Schüler\*innen und Lehrer\*innen einmal pro Woche getestet werden, reduziert sich die typische Ausbruchgröße bei von Schüler\*innen ausgehender Transmission auf einen Fall in allen Schultypen. Für Ausbrüche mit Indexfall Lehrer\*in reduziert sich die Größe ebenfalls auf einen Fall in allen Schultypen. Das bedeutet, dass es vom Indexfall ausgehend keine weitere Übertragung in das Schulsetting gibt. Ausgenommen sind Oberstufe und Gymnasium, wo die typische Ausbruchgröße dann zwei Fälle beträgt. Insbesondere bei Lehrkräften als Indexfall treten größere Ausbrüche aber nach wie vor auf. An Gymnasien sind etwa

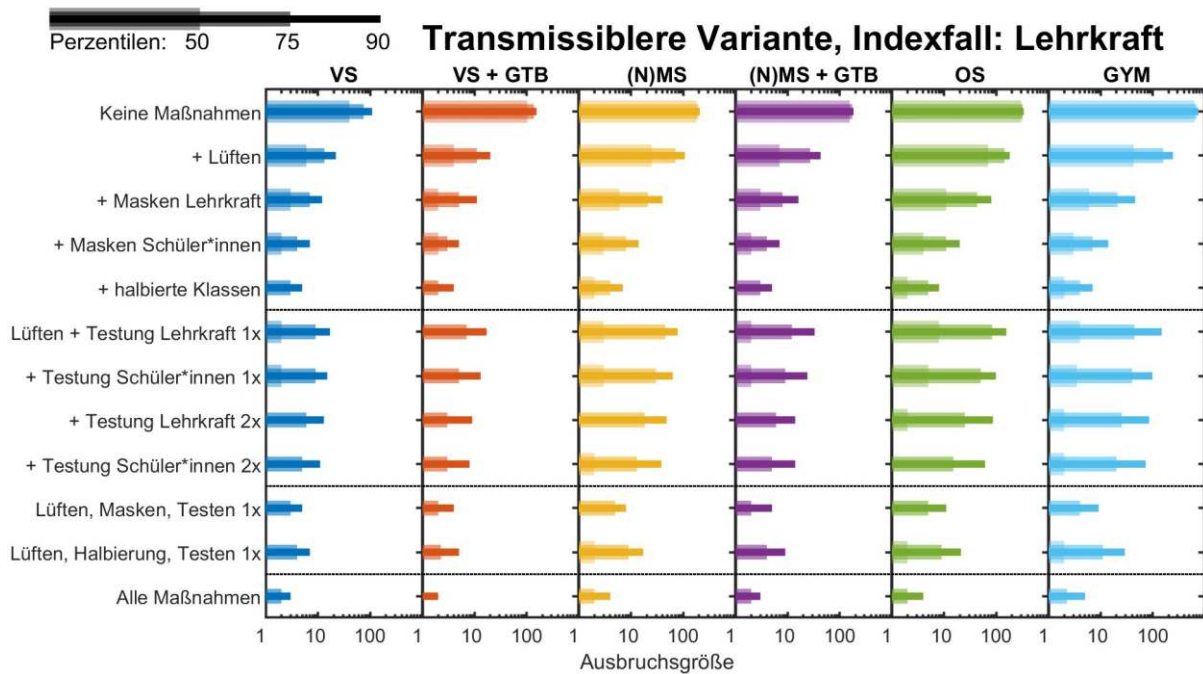
10 % der Ausbrüche noch größer als 30 Fälle, wenn sie von der Lehrkraft ausgehen. Das kann bei zweimaliger Testung von Schüler\*innen und Lehrer\*innen weiter auf 20 Fälle reduziert werden.

Ein Vergleich von Szenarien, die Lüften und eine wöchentliche Testung von Schüler\*innen und Lehrer\*innen mit MNS-Masken (beide Gruppen) oder halbierte Klassen und gestaffelten Unterricht kombinieren, zeigt, dass Masken eine größere präventive Wirkung entfalten. Sollten alle Maßnahmen (Lüften, Maske, Staffelung, Tests) gleichzeitig umgesetzt werden, sinkt bei Schüler\*innen als Indexfall die 90. Perzentile bis auf zwei (d. h. nur 10 % der Ausbrüche führen zu zwei oder mehr Fällen), mit Lehrer\*innen als Indexfall maximal auf drei.

## Transmissiblere Virusvarianten



**Abbildung 9:** Wie Abbildung 7, für eine um 50 % transmissiblere Variante.



**Abbildung 10:** Wie Abbildung 8, für eine um 50 % transmissiblere Variante.

Abbildungen 9 und 10 zeigen die Resultate für die untersuchten Maßnahmenbündel unter der Annahme einer um 50 % transmissibleren Virus-Variante. Im Appendix zeigen wir die Resultate der Wirkung von unterschiedlichen Maßnahmenbündeln nach Schultyp, Indexfall und Erhöhung der Transmissibilität um 10 %, 30 %, 50 %, 70 % und 90 % im Vergleich zum Wildtyp. Je stärker diese Erhöhung, desto größer werden die Ausbrüche auch bei restriktiven Maßnahmenbündeln.

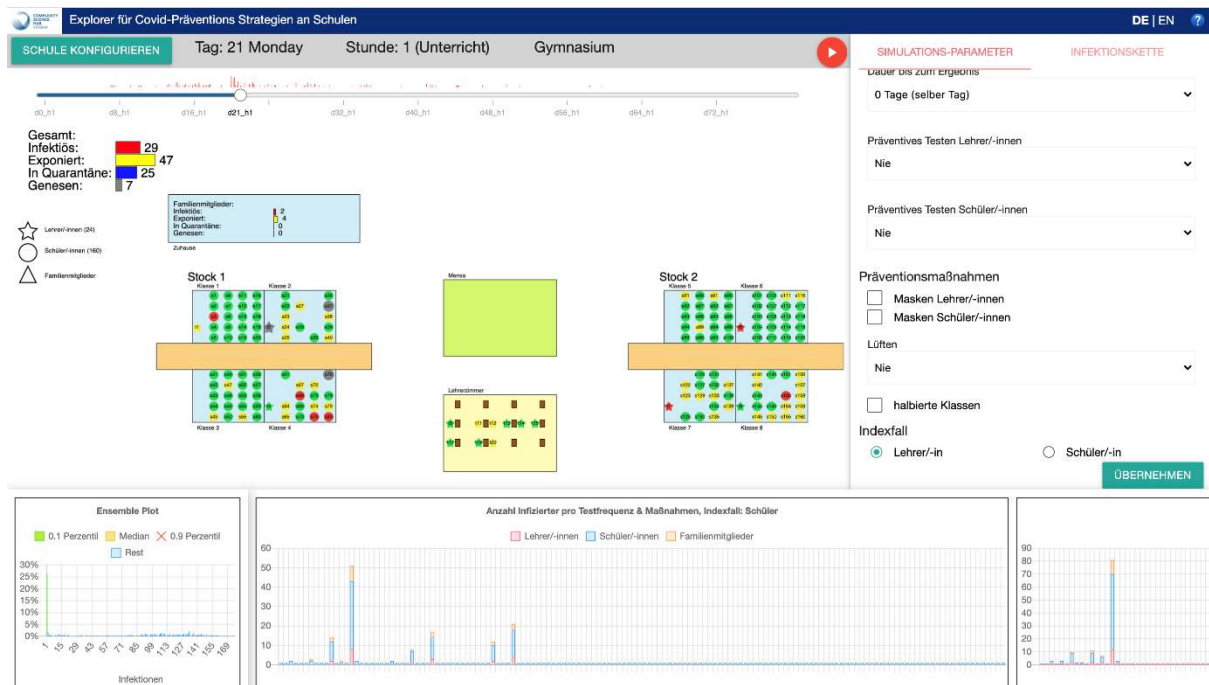
Im Folgenden beziehen wir uns auf Ergebnisse für Varianten mit einer um 50 % erhöhten Transmissibilität, wie sie für B.1.1.7 vermutet wird [3]. In Volksschulen mit Lüften als einziger Maßnahme bleibt der Median der Ausbruchgröße mit Indexfall Schüler\*in bei zwei; mit Indexfall Lehrer\*in erhöht er sich von zwei auf vier. Während beim Wildtyp 10 % der Ausbrüche zumindest eine Größe von acht Fällen (Indexfall Lehrer\*in) bzw. fünf Fällen (Indexfall Schüler\*in) erreichte, sind das bei der ansteckenderen Variante 13 bzw. neun Fälle. Um die Ausbruchsrößen bei der Variante wieder auf ein Niveau zu reduzieren, das bei Volksschulen dem des Wildtyps entspricht, wären zusätzliche Maßnahmen wie durchgängiges Maske-Tragen, Testscreening (Schüler\*innen 1x, Lehrkräfte 2x wöchentlich) oder halbierte Klassen notwendig.

Um in den anderen Schultypen eine ähnliche Präventionswirkung (Reduktion der 90. Perzentile der Ausbruchgröße) zu erreichen wie mit Lüften und Maske-Tragen beim Wildtyp, müssen bei einer Variante mit 50 % erhöhter Transmissibilität zusätzlich die Klassengrößen halbiert werden. Die Wirkung von Screening-Testungen nimmt mit höherer Transmissibilität deutlich ab. Selbst mit einer Testfrequenz von 2x wöchentlich sind 10 % der Ausbrüche noch größer als zehn (Indexfall Schüler\*in) bzw. 25 Fälle (Indexfall Lehrer\*in). Alle untersuchten Maßnahmen gleichzeitig reduzieren diese Ausbruchsrößen auf zwei bzw. drei Fälle in Oberstufen.

## Interaktiver Schulsimulator

Eine interaktive Version der Schulsimulation ist online verfügbar<sup>2</sup>. Das Tool erlaubt es Benutzer\*innen, interaktiv die Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen für bestimmte Schultypen und -größen zu simulieren. Nachdem ein Schultyp sowie die Anzahl und Größen der Klassen an der Schule definiert sind, gibt das Tool einen Überblick über die Wirkung der oben beschriebenen Präventionsmaßnahmen im Hinblick auf Faktoren wie Ausbruchgröße oder Anzahl der im Laufe des Ausbruchs unter Quarantäne gestellten Schüler\*innen, Lehrkräfte und Haushaltsmitglieder. Die Effizienz einzelner Maßnahmen lässt sich im „Agentenview“ im Detail beobachten, in dem der Tagesablauf der simulierten Schüler\*innen und Lehrer\*innen im Kontext eines Schulgrundrisses animiert wird. Ausbrüche können hierbei auf Ebene einzelner Schüler\*innen und Lehrer\*innen nachvollzogen werden.

Das Simulationstool erlaubt das Setzen unterschiedlicher (Kombinationen von) Maßnahmen, und zeigt, wie sie die Virusausbreitung jeweils beeinflussen. Für jedes Maßnahmenbündel wird dabei ein „repräsentativer Run“ angezeigt, der eine Anzahl an Transmissionen entsprechend dem Median der beobachteten Ausbruchgrößen beinhaltet.



**Abbildung 11:** Benutzeroberfläche der interaktiven Schulsimulation. Die unteren Diagramme geben einen Überblick über die Wirksamkeit der konfigurierbaren Maßnahmen. Der schematische Grundriss zeigt den Tagesablauf der „Agenten“ (Schüler\*innen und Lehrer\*innen) im Kontext des Infektionsgeschehens. Rechts können unterschiedliche Präventionsmaßnahmen konfiguriert werden.

<sup>2</sup> <https://vis.csh.ac.at/covid-schools/>

## Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 1 fassen wir zusammen, wie viele Infektionsfälle in Österreichs Schulen pro Woche bei verschiedenen Maßnahmenbündeln und einer 7-Tage-Inzidenz von 100 Fällen pro 100 000 Einwohner\*innen zu erwarten sind. Dazu nehmen wir die jeweilige durchschnittliche Ausbruchgröße bei gegebenem Indexfall und Schultyp und rechnen diese auf Basis des beobachteten Verhältnisses von Indexfällen sowie der Gesamtzahl von Schulen, Lehrer\*innen und Schüler\*innen auf ganz Österreich hoch, unter der Annahme, dass die Inzidenz in allen Altersgruppen gleich ist. Ohne Maßnahmen beginnt in Österreichs Oberstufen etwa ein Ausbruch pro Tag, der im Schnitt zu 79,2 Fällen führt. Sollte die Inzidenz nur halb so groß sein, halbieren sich diese Infektionsfälle. Somit kann man für bestimmte Inzidenzen und gegeben einer maximal tolerierbaren Anzahl von Infektionsfällen pro Tag ablesen, welche Maßnahmen notwendig sind.

Inwiefern Kinder tatsächlich weniger zum Infektionsgeschehen beitragen, ist nach wie vor nicht gänzlich geklärt. Fest steht, dass mit dem Alter des Kindes die Wahrscheinlichkeit eines asymptomatischen Infektionsverlaufs abnimmt, was eine Untererfassung der Infektionen bei jungen Kindern zur Folge haben kann [11]. Vor diesem Hintergrund sind unsere Ergebnisse der Verteilung der Indexfälle über die Schultypen zu verstehen, nach denen auch die Wahrscheinlichkeit mit dem Alter deutlich zunimmt, dass ein Infektionscluster von einem Schüler oder einer Schülerin ausging. Unser Simulationsmodell erlaubt es, die Effekte einer solchen Untererfassung durch die Repräsentation von asymptomatischen und womöglich nicht detektierten Infektionsfällen zumindest teilweise herauszurechnen. Zwischen dem 6. und 18. Lebensjahr nimmt das Transmissionsrisiko mit jedem Lebensjahr um 2 % zu. Jüngere Kinder tragen demnach durchaus weniger zum Infektionsgeschehen bei, jedoch besteht selbst in Volksschulen ein nicht vernachlässigbares Transmissionsrisiko. Dies macht in allen Schultypen Präventionsmaßnahmen unbedingt erforderlich, um den Unterricht nachhaltig aufrecht erhalten zu können.

Unseren Interviews mit Lehrer\*innen und Schuldirektor\*innen zufolge wurde im Zeitraum der Datenerhebung hauptsächlich auf regelmäßiges Lüften während des Unterrichts sowie das Tragen von Masken beim Betreten und Verlassen der Klassen und Schulen gesetzt. Tatsächlich zeigen diese Maßnahmen eine deutliche Reduktion der Ausbruchgrößen (Anzahl an Infektionsfällen, die durch Kontakt mit einem Indexfall in der Schule generiert werden), wenngleich auch an allen Schultypen ein Restrisiko für größere Ausbrüche bestehen bleibt, vor allem dann, wenn der Indexfall eine Lehrkraft ist. Unsere Ergebnisse sprechen auch dafür, dass eine weitere deutliche Reduktion der Ausbruchgröße durch das Tragen von MNS-Masken im Unterricht erzielt werden kann. An Oberstufen, (Neuen) Mittelschulen und Gymnasien müssen zusätzlich die Klassengrößen halbiert und muss der Unterricht gestaffelt werden, um die typische Ausbruchgröße auf nur einen Folgefall oder gar keine Transmission zu reduzieren.

Mit dem großflächigen Einsatz von AG-Tests steht nun eine weitere Möglichkeit einer Präventionsmaßnahme zur Verfügung. Wenn das Lüften weiter konsequent betrieben wird und sonst keine zusätzlichen Maßnahmen gesetzt werden, kann in den meisten Schultypen die typische Ausbruchgröße auf eins gesenkt werden (d. h. in der Mehrzahl der Fälle führt ein Infektionsfall zu keinem weiteren Folgefall, das Auftreten eines Ausbruchs wird verhindert). Das gilt unter der

Voraussetzung, dass einmal pro Woche alle Schüler\*innen und Lehrer\*innen auf eine SARS-CoV2-Infektion getestet werden. Für ältere Schüler\*innen (Gymnasium, Oberstufe, NMS) sind zweimaliges oder noch häufigeres Testen pro Woche notwendig, wobei es selbst dann regelmäßig zu von Lehrkräften ausgehenden Ausbrüchen mit fünf oder mehr Fällen kommen wird.

Eine weitere, deutliche Absenkung der Häufigkeit größerer Ausbrüche benötigt eine Kombination von Screening-Testungen, Tragen von MNS-Masken im Unterricht sowie halbierte Klassengrößen mit gestaffeltem Unterricht, besonders bei den älteren Schüler\*innen.

## Tabelle 1

**Zu erwartende mittlere Ausbruchsgrößen (innerhalb einer Woche, Mittelwert über alle Ausbrüche; Folgefälle verteilen sich auf mehrere Tage, über die der Ausbruch andauert) an allen Schulen des entsprechenden Typs in Österreich bei unterschiedlichen Maßnahmenbündeln und einer 7-Tage-Inzidenz von 100 Fällen pro 100 000 Einwohner\*innen.**

	<i>Volksschule</i>	<i>(Neue) Mittelschule</i>	<i>Oberstufe</i>	<i>Gymnasium</i>
Keine Maßnahmen	2 600	15 000	27 000	57 000
+ Lüften	390	1 100	1 800	1 800
+ Masken Lehrkräfte	300	500	790	600
+ Masken Schüler*innen	120	160	220	180
+ halbierte Klassen	35	61	70	66
Lüften + Testung Lehrkräfte 1x	340	830	1 200	1 300
+ Testung Schüler*innen 1x	210	430	620	570
+ Testung Lehrkräfte 2x	180	350	410	570
+ Testung Schüler*innen 2x	160	250	240	390
Lüften, Masken, Testen 1x	61	73	88	86
Lüften, Halbierung, Testen 1x	63	130	140	150
Alle Maßnahmen	16	22	22	29

## Limitationen

Die Aussagekraft der AG-Tests ist nicht restlos geklärt, speziell bei Verwendung im Schulsetting. Unseres Wissens nach gibt es noch keine Hersteller-unabhängigen Validierungsuntersuchungen für die bereits beschafften AG-Schnelltests, die in Schulen zum Einsatz kommen sollen („Schulscreening“). Bei asymptomatischen Fällen ist vorstellbar, dass die Viruslast im vorderen Nasenbereich geringer ist als im Nasen-Rachen-Raum. Unter diesen Gesichtspunkten sollten die Anterio-Nasal-Tests (die sogenannten „Wohnzimmertests“) bei Kindern jedenfalls noch genauer validiert werden. Auch ist noch unbekannt, wie viele Schüler\*innen tatsächlich beim Testen mitmachen. **Aus diesen Gründen sind unsere Berechnungen zur Wirksamkeit von Screening-Testungen als Best-Case-Szenarien zu betrachten.**

In der Simulation der Wirksamkeit von halbierten Klassen mit gestaffeltem Unterricht wurde die Annahme getroffen, dass Schüler\*innen, die nicht in der Schule Unterricht haben, an diesem Tag auch keinen Kontakt untereinander haben. Sollte ein großer Anteil dieser Kinder dennoch die Schule besuchen, etwa weil eine Tagesbetreuung notwendig ist, würde unser Modell die Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit überschätzen. **Auch bei halbierten Klassen stellen unsere Berechnungen also ein Best-Case-Szenario dar.**

Ebenso muss noch genauer evaluiert werden, welche Präventionseffekte die hier untersuchten Maßnahmen gegenüber transmissibleren Virus-Varianten haben. Aus heutiger Sicht ist noch nicht schlüssig geklärt, um wieviel ansteckender die derzeit bekannten neuen Varianten, die in England, Südafrika und Brasilien beschrieben wurden, tatsächlich sind. Möglich wäre etwa, dass eine beschleunigte Virusreplikation auch schneller zu einer hohen Viruslast führt, welche wiederum zu einer Verkürzung der Generationszeit führen könnte (Zeit zwischen Infektionszeitpunkt zweier aufeinanderfolgender Generationen). Auch könnte die Infektionsdosis der neuen Variante(n) geringer sein. Letzteres wäre besonders kritisch für die Aussagekraft von AG-Tests, da dadurch die Zeitspanne der Ansteckungsfähigkeit einer infizierten Person zunimmt, während ihre Viruslast weiterhin unter der Detektionsgrenze der gegenwärtig verfügbaren AG-Schnelltests läge.

## Handlungsempfehlungen auf Basis der Modellierungen

**Unterschiedliche Schultypen bedürfen unterschiedlicher Maßnahmen.** An Volksschulen kann mit Lüften und wöchentlicher Testung bereits eine deutliche Reduktion des Transmissionsrisikos erzielt werden. Das Auftreten von Ausbrüchen mit drei, vier, fünf oder mehr Fällen sind nicht gänzlich zu verhindern.

Um einen ähnlichen Effekt an Oberstufen und in Gymnasien zu erzielen, bedarf es größerer Anstrengungen, etwa durch ein zusätzliches Tragen von MNS-Masken im Unterricht sowohl von Lehrer\*innen als auch Schüler\*innen. Ein akzeptables Risiko für das Auftreten von Ausbrüchen sollte anhand der aktuellen epidemiologischen Lage in der betreffenden Region definiert werden (siehe Tabelle 1).

**Konkret lassen sich folgende Handlungsempfehlungen aus unseren Modellierungen ableiten:**

- ) Präventionsmaßnahmen an Schulen müssen an den Schultyp (Volksschule, NMS, Gymnasium) und an die epidemiologische Lage angepasst werden.
- ) Mit Lüften und Masken-Tragen beim Betreten und Verlassen der Klassenräume kann zwar eine deutliche Verringerung des Transmissionsrisikos erreicht werden, größere Ausbrüche kommen aber dennoch regelmäßig vor. Eine infizierte Person verursacht typischerweise in einem von zehn Ausbrüchen mehr als zehn Fälle.
- ) Bei höherem Transmissionsrisiko in der Bevölkerung braucht es mehrere Maßnahmen. Wöchentliche Screenings mit AG-Tests liefern eine zusätzliche Risikoreduktion, sofern ein überwiegender Teil der Schüler\*innen und Lehrkräfte an dem Screening teilnimmt. Sollte die Beteiligung an den Screeningtests zu niedrig sein, sollte das Lüften mit dem Tragen von Masken während des Unterrichts oder mit einer Staffelung des Unterrichts begleitet werden.
- ) An Gymnasien, Oberstufen und (Neuen) Mittelschulen sind beide Maßnahmen (Staffelung und Maske im Unterricht) notwendig, um die Wahrscheinlichkeit von großen Ausbrüchen zu reduzieren.
- ) Für Volksschulen kann mit Lüften und einmal wöchentlicher AG-Testung mit 100-prozentiger Beteiligung eine hinreichende Reduktion der Wahrscheinlichkeit von großen Ausbrüchen selbst bei hohem Transmissionsrisiko in der Bevölkerung erzielt werden. Vor diesem Hintergrund geht die höchste Wahrscheinlichkeit für Ausbrüche von Lehrkräften als Indexfall in der Schule aus. Daher wäre bei hohem Transmissionsrisiko in der Bevölkerung das Screening von Lehrkräften in Volksschulen ein- bis zweimalig pro Woche, vielleicht sogar noch häufiger, zu empfehlen.
- ) Bei Verzicht auf das Tragen von MNS-Masken im Unterricht oder Verzicht von gestaffeltem Unterricht an (Neuen) Mittelschulen, Gymnasien und Oberstufe bei mittlerem Transmissionsrisiko in der Bevölkerung ist eine deutliche Reduktion von großen Ausbrüchen nur dann möglich, wenn die AG-Testung unter allen Schüler\*innen und Lehrer\*innen zumindest zweimal wöchentlich durchgeführt wird.
- ) Für die Reduktion der Wahrscheinlichkeit größerer Ausbrüche bei älteren Schüler\*innen (Gymnasium, Oberstufe) vor dem Hintergrund eines hohen Transmissionsrisikos in der Bevölkerung bedarf es einer Kombination aller erwähnten Maßnahmen: AG-Screening, Lüften, MNS-Masken im Unterricht und Staffelung des Unterrichts.
- ) Wir wissen noch zu wenig über die Eigenschaften von B.1.1.7 oder anderer neu entdeckter Varianten, um dazu bereits konkrete Handlungsempfehlungen geben zu können. Es ist davon auszugehen, dass alle Schutzmaßnahmen, die bei der vorangegangenen Variante effektiv waren, auch bei den Mutanten wirken. Um aber eine etwaige erhöhte Transmissibilität auszugleichen, braucht es eine Kombination aus mehreren Schutzmaßnahmen sowie eine höhere Frequenz im Screening, um eine womöglich reduzierte Sensitivität der AG-Tests beim Detektieren infektiöser Fälle ausgleichen zu können.

## Danksagung

Mit Unterstützung des FFG-Projekts 882184 und des WWTF-Projekts MA16-045. Wir bedanken uns auch für die Unterstützung der Kärntner Bildungsdirektion sowie der Vielzahl von Schuldirektor\*innen und Lehrer\*innen für ihren Einsatz und die Bereitschaft, uns bei der Entwicklung der Simulation mit ihrem Wissen aus erster Hand zur Seite zu stehen. Wir bedanken uns außerdem bei Wolfgang Knecht für seine Unterstützung beim interaktiven Schulsimulator. Die in dieser Arbeit präsentierten Simulationsresultate wurden teilweise unter Verwendung des Vienna Scientific Cluster erstellt.

## Referenzen

- [1] Moriyama, Miyu, Walter J. Hugentobler, and Akiko Iwasaki. "Seasonality of respiratory viral infections." *Annual Review of Virology* 7 (2020).
- [2] Leung, Kathy, et al. "Early transmissibility assessment of the N501Y mutant strains of SARS-CoV-2 in the United Kingdom, October to November 2020." *Eurosurveillance* 26.1 (2021): 2002106.
- [3] European Centre for Disease Prevention and Control. Risk related to spread of new SARS-CoV-2 variants of concern in the EU/EEA – 29 December 2020. ECDC: Stockholm; 2020.
- [4] Lindner, Andreas K., et al. "Head-to-head comparison of SARS-CoV-2 antigen-detecting rapid test with self-collected anterior nasal swab versus professional-collected nasopharyngeal swab." *European Respiratory Journal* (2020).
- [5] Larremore, Daniel B., et al. "Test sensitivity is secondary to frequency and turnaround time for COVID-19 screening." *Science Advances* 7.1 (2020): eabd5393.
- [6] Lasser, Jana, et al. "Agent-based simulations for optimized prevention of the spread of SARS-CoV-2 in nursing homes" DOI 10.17605/OSF.IO/HYD4R (2020).
- [7] <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulsystem/gd.html>
- [8] [https://github.com/JanaLasser/agent\\_based\\_COVID\\_SEIRX/tree/master](https://github.com/JanaLasser/agent_based_COVID_SEIRX/tree/master)
- [9] Madewell, Zachary J., et al. "Household Transmission of SARS-CoV-2: A Systematic Review and Meta-analysis." *JAMA network open* 3.12 (2020): e2031756-e2031756.
- [10] Sharif-Askari, N. Saheb, et al. "Airways Expression of SARS-CoV-2 Receptor, ACE2, and TMPRSS2 Is Lower in Children Than Adults and Increases with Smoking and COPD." *Mol Ther Methods Clin Dev* 18 (2020): 1-6.
- [11] Walsh, Kieran A., et al. "SARS-CoV-2 detection, viral load and infectivity over the course of an infection: SARS-CoV-2 detection, viral load and infectivity." *Journal of Infection* (2020).

Appendix A: Resultate für Schultypen und transmissiblere Varianten

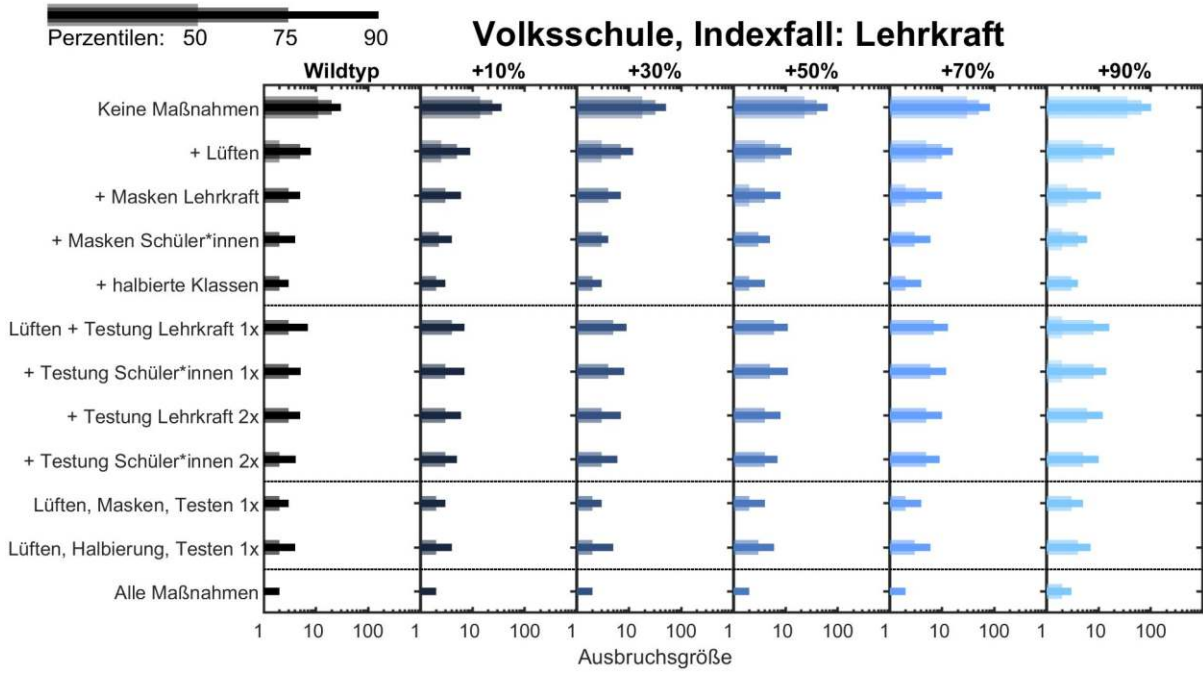


Abbildung A1: Resultate für transmissiblere Varianten in der Volksschule, Indexfall Lehrer\*in.

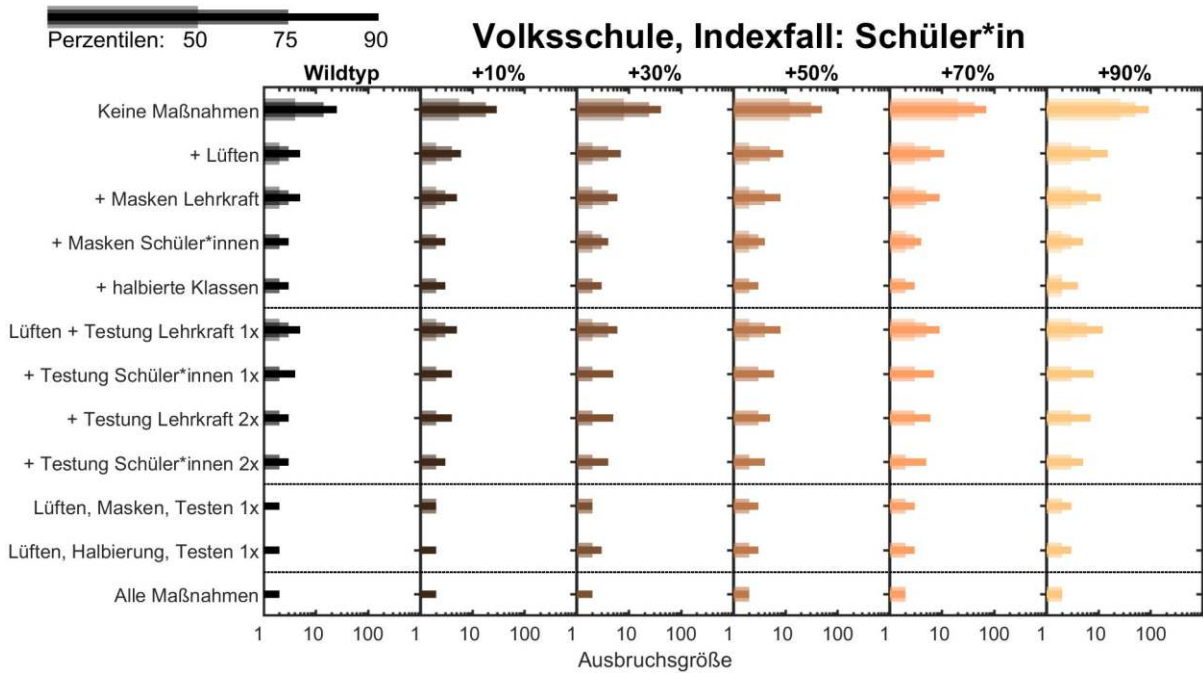
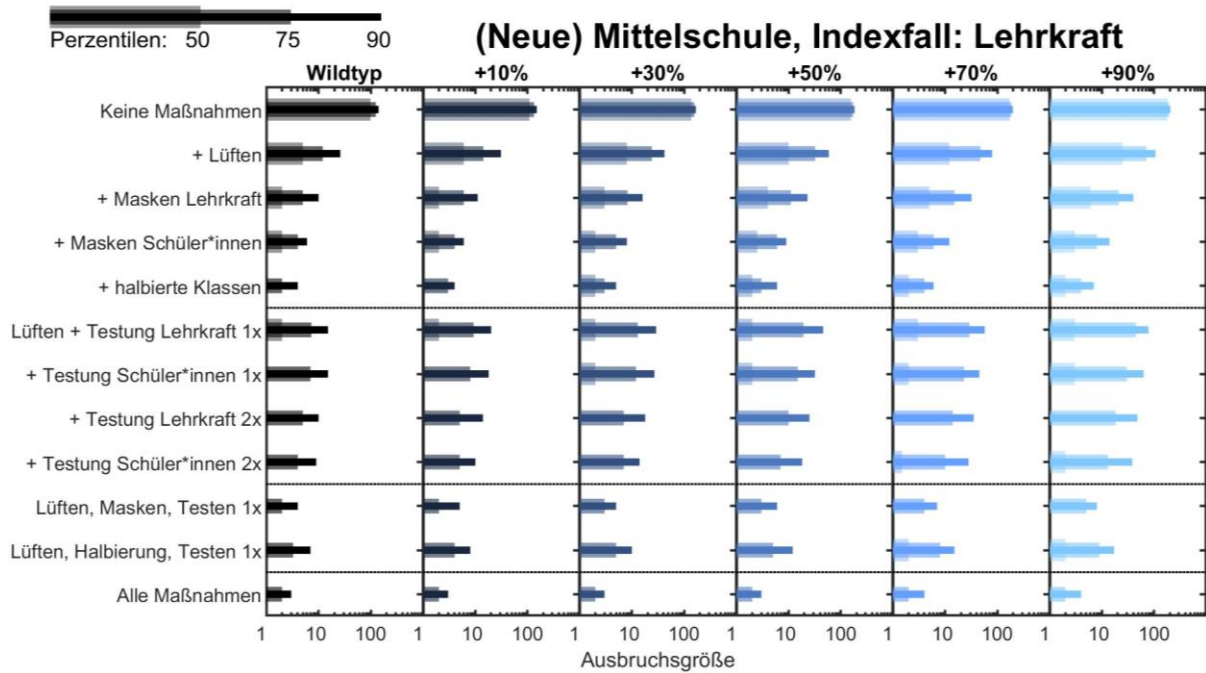
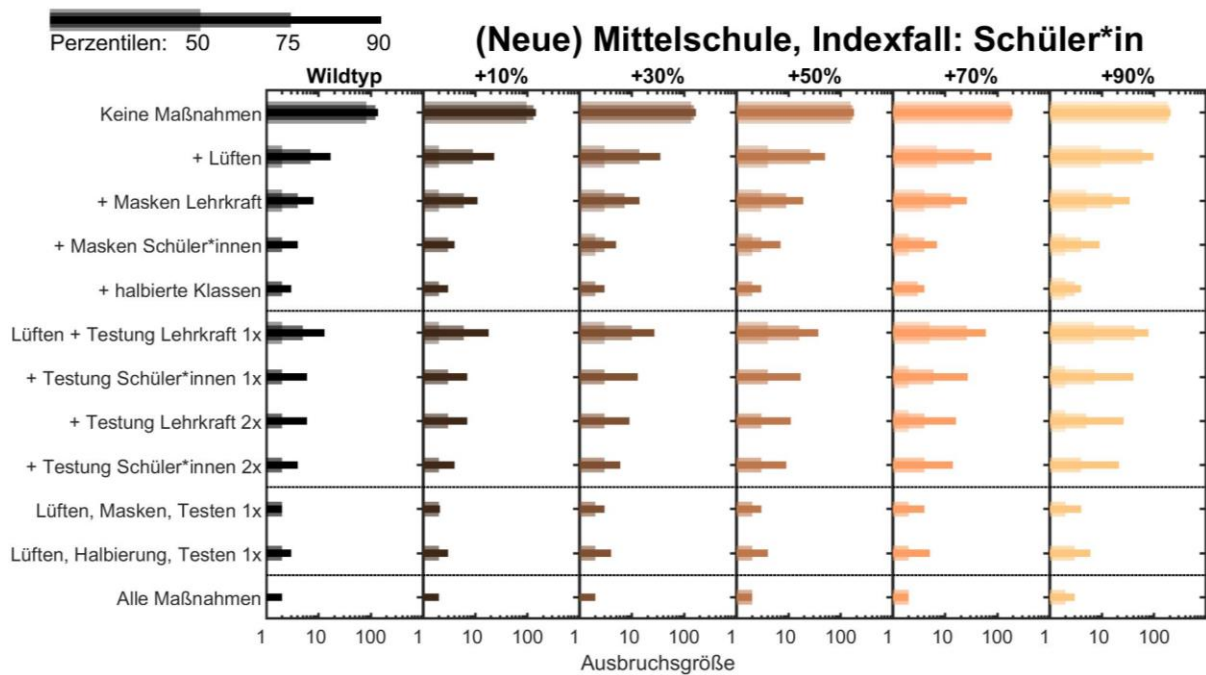


Abbildung A2: Resultate für transmissiblere Varianten in der Volksschule, Indexfall Schüler\*in.



**Abbildung A3:** Resultate für transmissiblere Varianten in der (N)MS, Indexfall Lehrer\*in.



**Abbildung A4:** Resultate für transmissiblere Varianten in der (N)MS, Indexfall Schüler\*in.

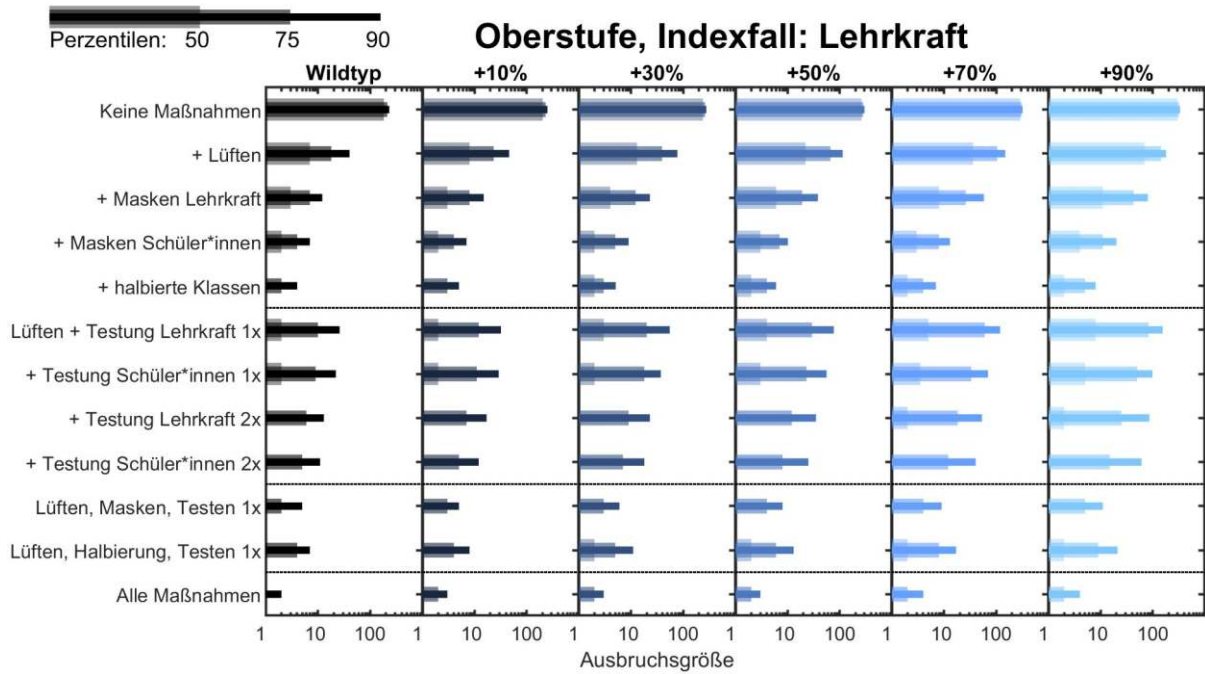


Abbildung A5: Resultate für transmissiblere Varianten in der Oberstufe, Indexfall Lehrer\*in.

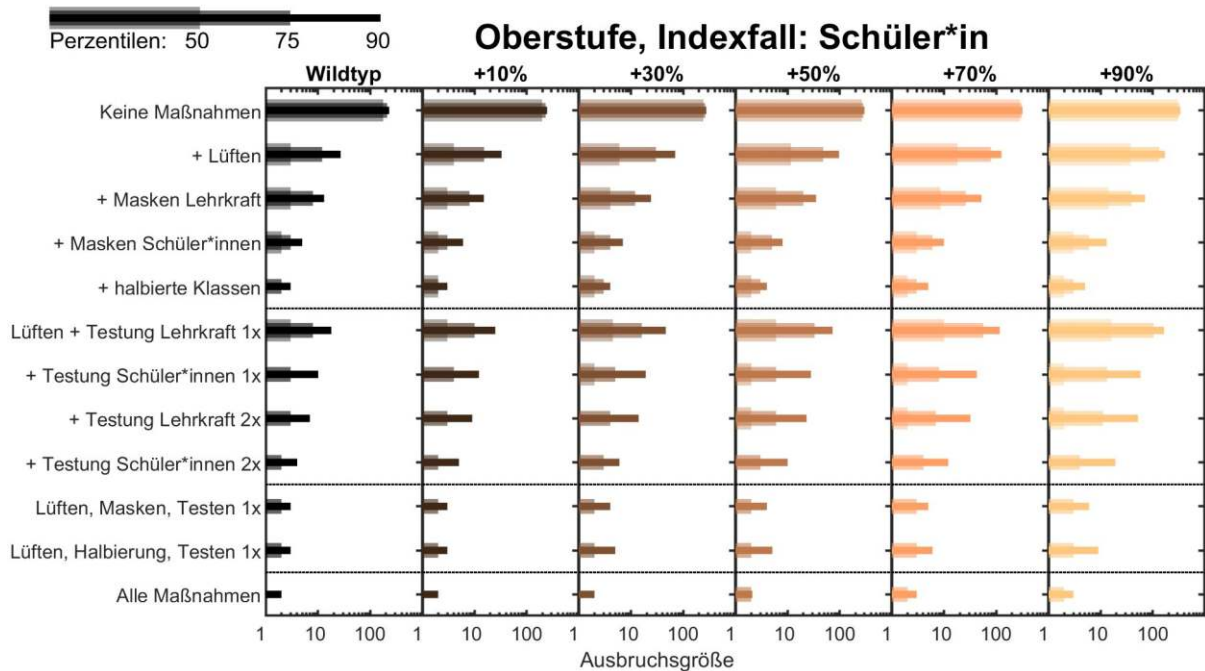


Abbildung A6: Resultate für transmissiblere Varianten in der Unterstufe, Indexfall Schüler\*in.