

From: ["Mielke, Martin" <MielkeM@rki.de>](mailto:MielkeM@rki.de)

To: ["Korr Dr., Gerit Solveig -614 BMG" <GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de>](mailto:GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de)

Date: 2/25/2021 7:49:00 AM

Subject: Im Nachgang zur heutigen AG Testen/ Diagnostik (Länderkoordinatoren , 26.2.2021)

Attachments: Fortgang der Diskussion zu AG-Testen (Bevölkerung).msg

2021-02-22_Nationale Teststrategie_kurz.pptx

RapidTests_Konzeptpapier_Schule_TRACE_v1_0.pdf

s12889-020-10153-1.pdf

nejmp2028209.pdf

PIIS2352464220302509.pdf

2020.10.11.20211011v2.full.pdf

paltiel_2020_oi_200614_1597251392.14363.pdf

covid-19-objectives-school-testing.pdf

Liebe Frau Korr,

die heutige Diskussion mit den Länderkoordinatoren zeigt, wie wichtig es ist, den Einsatz der AG-Tests (professionell versus privat) gut zu kommunizieren. Dazu gehört wohl auch, den bisherigen professionellen Einsatz nicht leichtfertig mit dem geplanten breiten Einsatz von Selbsttests (außerhalb definierter Bereiche) zu vermischen. Das in der AG Testen (BMG) ja sorgfältig besprochene Diagramm berücksichtigt dies ja noch in sachgerechter Weise (s. Anlage; Nationale Teststrategie).

Mit der Testung in Schulen (Bereich Bildung) und Betrieben (Betriebsarzt) in Ergänzung zum Gesundheitsbereich (der ja in der Nationalen Teststrategie seit langem gut verankert ist) könnte ja bereits eine breite Bevölkerung (Familien, Berufstätige, Pflegepersonal, hospitalisierte Bevölkerung) (regelmäßig) erreicht werden.

Die Rolle der "Türöffner-Tests" bleibt schwierig.

SCHULEN:

Zu den Schulen und der Situation in Österreich hatte ja Herr Müller bereits eine Nachricht gesendet.

Ich füge hier noch weitere Literatur sowie Links zum Thema Testung in Schulen bei (s. Anlagen).

Nach meiner Einschätzung könnten z.B. BW , Hessen, Berlin, Brandenburg, SH und MV sehr konstruktiv zur Diskussion beitragen (Erfahrungsberichte):

https://kinderbrauchenkinder-petition.de/wp-content/uploads/2020/11/2020-11_OffBrief_Positionspapier_Schnelltests-Schulen.pdf

<https://kultusministerium.hessen.de/presse/pressemitteilung/einsatz-von-antigen-schnelltests>

<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/erste-eckpunkte-einer-erweiterten-teststrategie-fuer-kitas-und-schulen/>

<https://km-bw.de/,Lde/startseite/sonderseiten/testen-schule-corona>

<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/zwei-anlasslose-schnelltests-pro-woche-fuer-schul-und-kitapersonal/>

https://www.charite.de/klinikum/themen_klinikum/themenschwerpunkt_coronavirus/teststrategie/

<https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/113518/Wie-die-Berliner-Teststrategie-fuer-Schulen-und-Kitas-funktioniert>

<https://www.berlin.de/sen/bjf/corona/tests/>

<http://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl19/drucks/02100/drucksache-19-02182.pdf>

<https://www.unfallkasse-mv.de/service/aktuelles/detail/news/kita-beschaefigte-fuer-wissenschaftliche-testreihe-gesucht.html>

<https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/bm/Blickpunkte/Coronavirus/Coronavirus-%E2%80%93-Informationen-f%C3%BCr-schule/Corona%E2%80%93Teststrategie/>

<https://kkm.brandenburg.de/kkm/de/presse/pressemitteilungen/detail/~24-11-2020-kabinett-teststrategie-fuer-kitas-und-schulen-verlaengert>

Gruß,
Martin Mielke

-----Ursprüngliche Nachricht-----

Von: Mielke, Martin

Gesendet: Donnerstag, 25. Februar 2021 08:56

An: 'Korr Dr., Gerit Solveig -614 BMG' <GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de>

Cc: Schuldt Dr., Kathrin -614 BMG (Kathrin.Schuldt@bmg.bund.de) <Kathrin.Schuldt@bmg.bund.de>;

Mahanty, Binod -614 BMG (Binod.Mahanty@bmg.bund.de) <Binod.Mahanty@bmg.bund.de>;

Semrau Dr., Jutta -324 BMG <Jutta.Semrau@bmg.bund.de>; AL1-Sekretariat <AL1-Sekretariat@rki.de>

Betreff: Unterstützung zu TOP 2/ TOP 4 WG: AG Labor/Testung am Do, 25.02.21, 13:30 Uhr

Liebe Frau Korr,

in Ergänzung und ggf. Vorbereitung/ Unterstützung von TOP 2/ TOP 4 sende ich in der Anlage (Fortgang der Diskussion zu AG-Testen ...) eine aktuelle Synopse (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

Gruß,
Martin Mielke

-----Ursprüngliche Nachricht-----

Von: Korr Dr., Gerit Solveig -614 BMG <GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de>

Gesendet: Mittwoch, 24. Februar 2021 18:24

An: AL1-Sekretariat <AL1-Sekretariat@rki.de>; 'Corman' <victor.corman@charite.de>; Jakob, Katharina -123 BMG <Katharina.Jakob@bmg.bund.de>; Kleymann-Hilmes, Janine <Kleymann-HilmesJ@rki.de>; 'Müller' <m.mueller@labor28.de>; 'Nübling' <Micha.Nuebling@pei.de>; 'Stöblein' <ekkehard.stoesslein@bfarm.de>; 'Walger' <walger@vdgh.de>; Mahanty, Binod -614 BMG <Binod.Mahanty@bmg.bund.de>; 'schlaudm@rki.de'; 'mielkem@rki.de'; 'Auch' <DAuch@KBV.DE>; 'seifriedJ@rki.de'; 'abusinM@rki.de'; 123 BMG <123@bmg.bund.de>; Hamouda, Osamah <HamoudaO@rki.de>; Böttcher, Sindy <BoettcherS@rki.de>; Schuldt Dr., Kathrin - 614 BMG <Kathrin.Schuldt@bmg.bund.de>; Nitsche, Andreas <NitscheA@rki.de>; 'Ciesek, Sandra' <Sandra.Ciesek@kgu.de>; 'van Diepen, Laura' <Laura.vanDiepen@bfarm.de>; 'Heinrich.Scheiblaue@pei.de' <Heinrich.Scheiblaue@pei.de>; Semrau Dr., Jutta -324 BMG <Jutta.Semrau@bmg.bund.de>

Cc: 614 BMG <614@bmg.bund.de>; Lange-Bratanova, Elena -611 BMG <Elena.Lange-Bratanova@bmg.bund.de>; Altner, Julia -228 BMG <Julia.Altner@bmg.bund.de>; Danek, Stella -612 BMG <Stella.Danek@bmg.bund.de>

Betreff: AG Labor/Testung am Do, 25.02.21, 13:30 Uhr

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

morgen Donnerstag, 13.30 Uhr, findet erneut unser telefonischer Austausch statt.

Einwahldaten: Telefonnummer (0) 069 20009800 Zugangscode 7811937558#

Agenda:

TOP 1 Anzahl Testungen, Positivrate, Testkapazitäten, Lieferengpässe (RKI, ALM)

TOP 2 Informationen zum aktuellen Umsetzungsstand eines breiten und niedrighschwelligem Zugangs zu PoC-Antigentests; anbei aktueller Entwurf der erweiterten Teststrategie (noch nicht frei gegeben)

TOP 3 Erste drei Selbsttests nun zugelassen (siehe BfArM-Seite)

*was für Tests sind es (Material, Qualität, QR-Code?) (BfArM)

*Liefermengen/Vertrieb (123, VDGH?)

TOP 4 Diskussion sinnvoller und nicht sinnvoller Anwendungsbereiche für Selbsttests (für die geplante Kommunikation, nicht für die Strategie) (alle)

TOP 5 Terminmanagement PCR-Bestätigungstestungen nach Selbsttest (alle, KBV)

TOP 6 Entwicklung von Basis-Testkonzepten / Empfehlungen zur Erstellung von Testkonzepten (als Impuls für die Diskussion siehe beiliegendes Konzeptpapier für Schulen) (alle, RKI)

TOP 7 Sind Personen, die mit der Variante B.1.1.7 infiziert sind, zu Beginn der Infektion schon mit geringerer Viruslast infektiös im Vergleich zum Wildtyp? (gern KL, Prof. Ciesek)

TOP 8 Testung von Geimpften und Genesenen (gern RKI)

Herzlichen Dank für Ihre Unterstützung!

Mit freundlichen Grüßen

Im Auftrag

Dr. med. Gerit Solveig Korr, MSc

Referat 614 - "Infektionskrankheiten"

Bundesministerium für Gesundheit

Hausadresse: Lindencorso, Unter den Linden 21, 10117 Berlin

Postanschrift: 11055 Berlin

Tel. 030-18441-3287

GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de <mailto:GeritSolveig.Korr@bmg.bund.de>

www.bundesgesundheitsministerium.de <http://www.bundesgesundheitsministerium.de>

www.twitter.com/BMG_Bund <http://www.twitter.com/BMG_Bund>

www.facebook.com/BMG.Bund <http://www.facebook.com/BMG.Bund>

Hinweise zu externen Links.

Auf Art und Umfang der übertragenen bzw. gespeicherten Daten hat das BMG keinen Einfluss.

Der Schutz Ihrer Daten ist uns wichtig. Nähere Informationen zum Umgang mit personenbezogenen Daten im BMG können Sie der Datenschutzerklärung auf

<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/datenschutz.html>

<<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/datenschutz.html>> entnehmen.

Nationale Teststrategie SARS-CoV-2

Entwurf vom 18.02.2021

Für eine Aufzählung der spezifischen Einrichtungen und Personengruppen ist die Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2 verbindlich.

Gesundheitswesen und andere vulnerable

Empfehlung Test-Typ

PCR-Test¹ Antigen-Test³ Frequenz⁴ Kosten-Regelung⁵ Priorisierung (PCR)

! Zusätzlich gilt:
 1) Erweiterte Basishygiene
 2) Symptom-Monitoring
 3) Gemäß Vorschriften Bund/Länder: Abstand halten, Hygieneregeln einhalten, Alltagsmaske tragen, Lüften (AHA+L)

Personen	Testung	Einrichtung	Regelung	PCR-Test ¹	Antigen-Test ³	Frequenz ⁴	Kosten-Regelung ⁵	Priorisierung (PCR)
Symptomatische Personen (mit respiratorischen Symptomen jeder Schwere)				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	K	1
Asymptomatische Personen	Testung nach bekannter Exposition	Kontaktpersonen	Personen mit Kontakt zu bestätigtem COVID-19 Fall (z.B. gleicher Haushalt, 15-minütiger Kontakt, sowie über Corona-...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	VO	2
		Ausbruch	in Einrichtungen oder Unternehmen nach §§ 23 Abs. 3 und 36 Abs. 1 IfSG, z.B. Arztpraxen, Kitas, Schulen, Asylbewerberheime	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5,6	VO	3
	Präventive Testungen in Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen, Praxen und weiteren definierten Settings ⁹	Patienten, Bewohner, Betreute	bei (Wieder-)Aufnahme sowie vor ambulanten Operationen oder vor ambulanter Dialyse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	VO	3
			Regelmäßig: Reihentests nach Testkonzept der Einrichtung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7,8	K (KHG) VO	4
		Personal	Anlass-bezogen: vor Antritt einer neuen Arbeitsstelle	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8	VO	4
			Regelmäßig: Reihentests nach Testkonzept der Einrichtung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7	VO	4
Besucher	Anlass-bezogen vor Besuch der Einrichtung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8	VO	5		

Arbeitsplatz, Bildungseinrichtungen u.a.

Asymptomatische Personen	Präventive Testungen	Personen im Beruf/Schulen, Kitas	Regelmäßig und Anlass-bezogen Wenn Zusammenkünfte mit Menschen oder enger Kontakt am Arbeitsplatz nicht vermeidbar, z.B. Schule, Kita, Sammelunterkünfte; Im Rahmen eines Hygienekonzepts	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7,8	VO	5
--------------------------	----------------------	----------------------------------	--	--------------------------	-------------------------------------	-----	----	---

- Empfohlen
- Möglich
- Möglich bei begrenzter Kapazität
- Zur Bestätigung von positivem Point-of-Care Antigen-Test
- Akut (Wiederholung bis zu einmal pro Person)
- Mindestens 2x wöchentlich, abhängig von Testkonzept der Einrichtung/Unternehmen

- 1) Differenzialdiagnostische Aspekte berücksichtigen (z.B. Influenza)
- 2) Labor-basierte (einschließlich solcher zur Feststellung von Virusvarianten) und Point-of-Care PCR-Tests
- 3) Bei positivem Antigen-Testergebnis Bestätigung durch PCR
- 4) Fallschnelles Resultat notwendig
- 5) Ggf. zur Kohorten-Isolierung
- 6) Z.B. auch labor-basierte Antigen-Tests zur Entlastung von Kapazitäten
- 7) Empfehlungen für Reihentestungen: Abstimmung mit der lokalen Gesundheitsbehörde, Einhaltung der Hygienemaßnahmen
- 8) Nur Point-of-Care Antigen-Test gemäß VO

9) Umfasst auch Einrichtungen für: Menschen mit Behinderungen, Rehabilitation, Ambulante Operationen, Ambulante Pflege, Ambulante Dialyse, Tageskliniken, Eingliederungshilfe, Hospizdienste, Arztpraxen, Zahnarztpraxen, Rettungsdienste und Praxen anderer humanmedizinischer Heilberufe nach §23 Abs.3, Satz 1 Nr. 9 IfSG
 10) PCR zusätzlich für Reihentests in bestimmten Einrichtungen möglich, Veranlassung durch Öffentlichen Gesundheitsdienst erforderlich

K = Krankenbehandlung; KHG = Krankenhausfinanzierungsgesetz
 VO = Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2

Nationale Teststrategie SARS-CoV-2

Stand 08.02.2021

Für eine Aufzählung der spezifischen Einrichtungen und Personengruppen ist die Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2 verbindlich.

Gründlichkeit	Symptomatische Personen ¹			Empfehlung Test-Typ		Frequenz	Kostenregelung	Priorisierung
				PCR-Test ²	Antigentest ³			
<p>1) Erweiterte Basishygiene</p> <p>2) Symptom-Monitoring</p> <p>3) Gemäß Vorschriften Bund/Länder: Abstand halten, Hygieneregeln einhalten, Alltagsmaske tragen, Lüften (AHA+L)</p>	Asymptomatische Personen	Allgemeinbevölkerung (exponiert)	Kontaktpersonen: Personen mit Kontakt zu bestätigtem COVID-19 Fall (z.B. gleicher Haushalt, 15-minütiger Kontakt, sowie über Corona-Warn-	■	□ ⁴	●	VO	1
			Bei Ausbruch Personen in Einrichtungen oder Unternehmen nach §§ 23 Abs. 3 und 36 Abs. 1 IfSG, z.B. Arztpraxen, Kitas, Schulen, Heime	■	□ ⁴	●	VO	2
	Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Einrichtungen für Menschen mit Behinderungen, -Rehabilitation, -Ambulante Operationen, -Ambulante Pflege, -Ambulante Dialyse, -Hospizdienste	Patienten, Bewohner, Betreute	(Wieder-)Aufnahme sowie vor ambulanten Operationen oder vor ambulanter Dialyse	■	□ ⁴	●	VO	3
				bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	K (KHG) VO
		Personal	bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2
			ohne COVID-19 Fall	□	■ ^{7,9}	●	VO	5
		Besucher	vor Besuch der Einrichtung	■ ¹¹	■ ⁷	●	VO	4
			bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2
	(Zahn)-, Arztpraxen, weitere Praxen ¹⁰ ,	Personal	bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2
			ohne COVID-19 Fall	□	■ ^{7,9}	●	VO	4

<p>■ Empfohlen</p> <p>■ Möglich</p> <p>□ Möglich bei begrenzter Kapazität</p> <p>□ Möglich, Kosten nicht durch VO gedeckt</p> <p>● Akut (Wiederholung bis zu einmal pro Person)</p> <p>Regelmäßig, abhängig von Testkonzept der Einrichtung/Unternehmen</p>	<p>1) Differenzialdiagnostische Aspekte berücksichtigen (z.B. Influenza)</p> <p>2) Labor-basierte (einschließlich solcher zur Feststellung von Virusvarianten) und Point-of-Care PCR-Tests</p> <p>3) Bei positivem Antigen-Testergebnis Bestätigung durch PCR</p> <p>4) Fallschnelles Resultat notwendig</p> <p>5) Ggf. zur Kohorten-Isolierung</p> <p>6) Z.B. auch labor-basierte Antigen-Tests zur Entlastung von Kapazitäten</p> <p>7) Empfehlungen für Reihentestungen: Abstimmung mit der lokalen Gesundheitsbehörde, erhöhte 7-Tage-Inzidenz, von z.B. >50/100.000, Einhaltung der Hygienemaßnahmen</p>	<p>8) Empfohlen bei 7-Tage-Inzidenz >50/100.000, Einhaltung der Hygienemaßnahmen</p> <p>9) Nur Point-of-Care Antigentest gemäß VO</p> <p>10) Praxen anderer humanmedizinischer Heilberufe nach §23 Abs. 3 Satz 1 Nr. 9 IfSG</p> <p>11) Veranlassung durch Öffentlichen Gesundheitsdienst erforderlich</p> <p>K = Krankenbehandlung KHG = Krankenhausfinanzierungsgesetz VO = Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2</p>
---	--	--

Konzeptpapier: Selbsttestungen mit Antigen-Schnelltests an Schulen und Kindertagesstätten mittels "TRACE"

Inhaltsverzeichnis

0. Executive Summary	2
1. Ausgangssituation	4
2. 5-Säulen-Modell "TRACE"	5
2.1.1 Methode und Test-Regime: Inzidenz-abhängiges Testen	6
2.1.2 Durchführung und Auswahl des Testsystems	9
2.1.3 Altersgerechtes Testen	12
2.2 Reaktion und abgeleitete Maßnahmen	13
2.2.1 Überblick	13
2.2.2 Möglichkeiten zur Nachtestung (*Zweistufigkeit)	13
2.2.3 Nachtestzentren	14
2.3 App (optional)	15
2.4 Compliance/ Kommunikation	17
2.4.1. Freiwillige und verpflichtende Teilnahme	17
2.4.2. Maximierung der Mitwirkungsbereitschaft	17
2.4.3. Informationsmöglichkeiten für Teilnehmende	18
2.5 Evaluation und Surveillance	19
3. Praktische Umsetzung vor Ort	20
4. Referenzen	21

0. Executive Summary

Antigen-Schnelltests können dazu beitragen, SARS-CoV-2-Eintragungen in **Bildungs- und Betreuungseinrichtungen** (Schulen, Kitas, Kinderhorte etc.) frühzeitig zu erkennen und Ausbrüche zu verhindern. Das **regelmäßige (Inzidenz-abhängige) Testen** des Lehr- und Betreuungspersonals, aber auch der Kinder und Jugendlichen ist dabei unerlässlich. Mit der Zulassung von einfach anwendbaren **Antigen-Schnelltests als Selbsttests für Lai:innen** ist es möglich, genau dies zu tun. Mittlerweile sind unabhängig geprüfte Antigen-Schnelltests erhältlich, welche über einen schmerzfreien Abstrich im vorderen Nasenraum unter Aufsicht sogar von Kindern zuverlässig durchgeführt werden können. In Österreich kommen diese bereits zur Anwendung. Um eine Teststrategie in Schulen und Kitas optimal zu implementieren, haben wir das **TRACE-Modell** entwickelt:

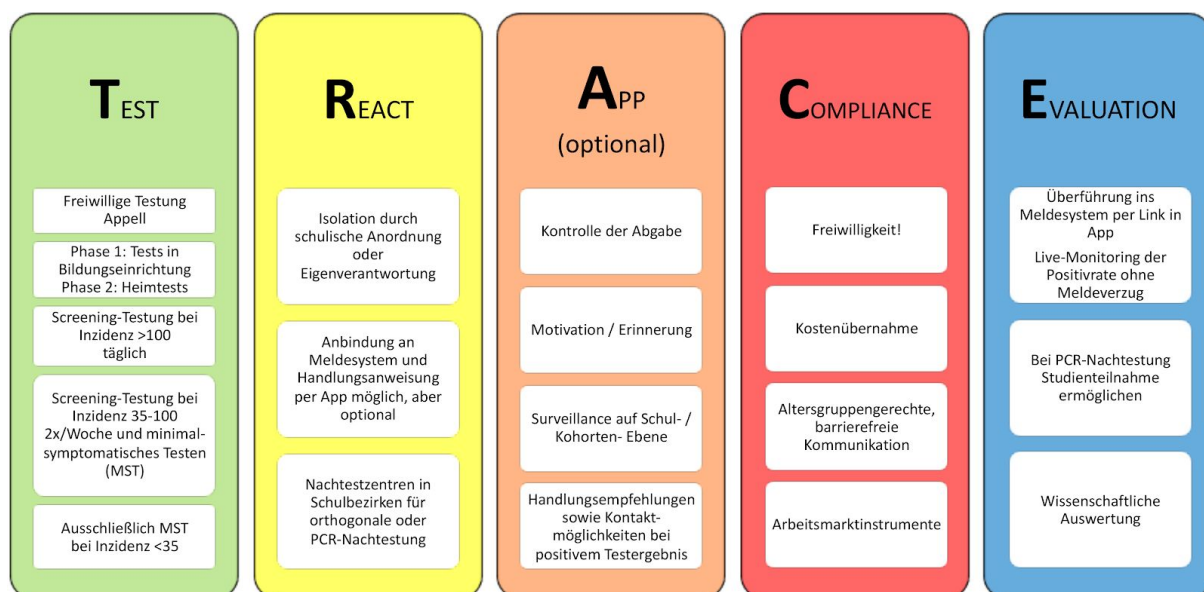


Abbildung 1: Die fünf Säulen der Schnelltest-Strategie in Schulen gemäß Konzeptpapier RapidTests

Testen ist das Kernstück des Modells und beinhaltet folgende Punkte:

1. Wahl eines oder mehrerer geeigneter Antigen-Schnelltests
2. Festlegung, ob die Tests unter Aufsicht in der Einrichtung oder zu Hause durchgeführt werden. Vorteil der Testung zu Hause: Ansteckungen auf dem Schulweg/in der Schule werden vermieden. Vorteil der Testung in der Einrichtung: Höhere Compliance und Kontrolle möglich.
3. **Testhäufigkeit an 7-Tage-Inzidenz** oder lokalen Ausbruch anpassen:

- a. täglicher Schnelltest bei entdecktem Schulcluster oder 7-Tage-Inzidenz >100
 - b. 2x/Woche Schnelltest (zweistufiger Test) bei 7-Tage-Inzidenz von 35-100
 - c. ausschließlich minimalsymptomatisches Testen bei 7-Tage-Inzidenz <35
4. Bei Kleinkindern kann die Testung in Form einer „Tandem-Testung“ (regelmäßiges Testen der Eltern, zusätzlich oder anstatt des Kindes) erfolgen.

Weiterhin muss klar sein, welche **Reaktion** ein Antigen-Schnelltest nach sich zieht. Auch bei negativem Antigen-Schnelltest müssen die restlichen Schutzmaßnahmen (AHA+AL + ggf. Klassenteilung oder Wechselunterricht) unbedingt weiter befolgt werden. Ein positiver Antigen-Schnelltest sollte zur Konsequenz haben:

1. Sofortige Isolation
2. Verständigung eines Arztes/einer Ärztin, des Nachttestzentrums oder lokalen Gesundheitsamtes (wünschenswert wäre eine Hotline, ggf. Automatisierung durch App), zur Terminvereinbarung für eine Bestätigungs-PCR.
3. Benachrichtigung von Kontaktpersonen

Um die **Compliance** bei freiwilliger Testung maximal zu fördern, ist eine altersgerechte **Kommunikation** unter Einbindung der Eltern/Erziehungsberechtigten vonnöten. Optimal wäre hierzu die Aufklärung der Schüler:innen im Klassenverband sowie ein virtueller Elternabend, bei dem eine beauftragte Person für Einweisung und Fragen zur Verfügung steht. Zusätzlich sollte leicht verständliches Informationsmaterial an die Sorgeberechtigten ausgegeben werden.

Als **optionales Instrument** könnte eine **App** das Testprogramm noch effizienter machen. Über diese könnten die Ergebnisse eines zu Hause durchgeführten Antigen-Schnelltests mittels Zeitstempel in der Schule kontrolliert werden. Weiterhin könnte diese der Meldung eines positiven Antigen-Schnelltests sowie der Complianceförderung dienen. Zusätzlich könnte sie durch digitale Übermittlung von Testergebnissen zur **Evaluation** des Test- und Infektionsgeschehens sowohl lokal als auch bundesweit, beitragen. Eine Teilnahme an wissenschaftlichen Auswertungen wäre ferner denkbar.

1. Ausgangssituation

Niederschwellige, regelmäßige und einfache Testungen von Erzieher:innen und Lehrer:innen, Kindern und Jugendlichen mittels Schnelltests sollten schnellstmöglich in allen Bundesländern implementiert werden, um die Bildungseinrichtungen, zusätzlich zu den bestehenden Präventionsmaßnahmen, sicherer zu machen und Infektionscluster während des Betriebes zu verhindern [1].

Mehr als 50% der Ansteckungen mit SARS-CoV-2 gehen von Personen aus, die (noch) nichts von ihrer Infektion wissen, da sie (noch) kaum bis keine Symptome verspüren, obwohl sie bereits hochansteckend sind [2–4]. Eine **um proaktive Schnelltests erweiterte Teststrategie** zielt darauf ab, diese frühzeitig zu identifizieren und zu isolieren, um möglichst viele Infektionsketten zu unterbrechen.

Antigen-Schnelltests sind für ein **engmaschiges Screening** optimal geeignet, da sie im Vergleich zu konventionellen PCR-Methoden ein Ergebnis in wenigen Minuten liefern und in weit größeren Mengen produziert und angewendet werden können. Die geringere Sensitivität der Schnelltests im Vergleich zum PCR-Test kann dabei laut Modellrechnungen durch die schnellen Testergebnisse und die regelmäßige Anwendung mehr als ausgeglichen werden [1,5]. Entsprechend können Studien zufolge regelmäßige proaktive Schnelltests (idealerweise 2- bis 3-mal pro Woche) maßgeblich zur früheren Entdeckung ansteckender Personen führen [1,5–8]. Dass Schnelltests eigenständig mit zuverlässigem Ergebnis durchgeführt werden können, wurde bereits gezeigt [9–12]. In einer hessischen Studie wurden einige der über 600 teilnehmenden Lehrer:innen durch regelmäßige Selbsttests zu Hause davon abgehalten, infiziert bzw. infektiös in die Schule zu gehen [9].

Regelmäßiges Testen sowohl von Lehrer:innen und Erzieher:innen als auch von Schüler:innen und Kita-Kindern könnte daher sowohl die Häufigkeit als auch die Stärke von Ausbrüchen in den Einrichtungen entscheidend reduzieren. Mittlerweile sind unabhängig geprüfte Antigen-Schnelltests erhältlich, welche über einen **einfachen und angenehmeren** Abstrich im **vorderen Nasenraum** zuverlässig durchgeführt werden können. Dies erhöht die Akzeptanz in der Bevölkerung, sich regelmäßig selbst zu testen, beträchtlich, was für einen proaktiven Ansatz unerlässlich ist.

Es gibt zwei Möglichkeiten, an welchem Ort die Tests durchgeführt werden können: Zu Hause oder in der Betreuungseinrichtung. Aus infrastrukturellen, Arbeitsschutz- und haftungsrechtlichen Gründen sollten Schnelltests idealerweise als **Selbsttests zu Hause**

durchgeführt werden. Diese Option basiert auf **Freiwilligkeit** und Vertrauen, solange z.B. keine sinnvolle digitale Lösung in Form einer App zur Kontrolle zur Verfügung steht. Das Testen in der Einrichtung könnte zwar mit einer Testpflicht gekoppelt werden, wie es derzeit in Österreich praktiziert wird, geht jedoch mit oben genannter Problematik (z.B. potenzielle Ansteckungen auf dem Schulweg) einher. Es ist daher genau abzuwägen, welche Lösung präferiert wird. Da sich Laien-Selbsttests, von denen jedoch einige prinzipiell heute bereits laientauglich wären, noch im Zulassungsverfahren befinden, aber die Schulen bundesweit bereits schrittweise in den Präsenzbetrieb zurückkehren, schlagen wir **zwei Phasen** zur Implementierung von Schnelltests an Schulen und Kitas vor:

Tabelle 1: Einführungsphasen

	pädagogisches und sonstiges Personal	Schüler:innen	Kita-Kinder
Phase 1 (noch nicht offiziell zugelassener Selbsttest für Lai:innen)	Selbsttest, optimalerweise zu Hause	Test unter Aufsicht vor Schulbeginn, Abstrich Außenbereich, Test-Durchführung Innenbereich	nur Personal
Phase 2 (als Selbsttest für Lai:innen)	Selbsttest zu Hause	Selbsttest zu Hause	Tandemtest zu Hause: Eltern und/oder Kind

2. 5-Säulen-Modell "TRACE"

Die im Folgenden dargestellte Teststrategie stellt eine Empfehlung unter Abwägung der wissenschaftlichen Datenlage zu Antigen-Schnelltests dar und gibt darüber hinaus keine Empfehlungen zu alternativen/weiteren nicht-pharmazeutischen Interventionen, wie z.B. ob und wann Schulen und Kindertagesstätten geschlossen werden sollten oder wieder öffnen können. Eine Einhaltung von gängigen Präventions- und Hygienemaßnahmen im laufenden Betrieb setzen wir jedoch als gegeben voraus. Neben dem Kern einer Teststrategie, der eigentlichen Testung und der damit verbundenen Infrastruktur, enthält das hier vorgestellte **"TRACE"-Modell** vier weitere wichtige Säulen für ein umfassendes Testkonzept an Einrichtungen:

- T**esten
- R**eaktion und Maßnahmen
- A**pp (optional)
- C**ompliance und Kommunikation
- E**valuierung und Surveillance

2.1 Testen

Ziel: Maximierung der zeitnahen Identifikation von infektiösen Personen. Minimierung der Anzahl der Personen die in Quarantäne müssen.

Zentrale Punkte bei der Auswahl der Teststrategie	Bewertungskriterien
<ul style="list-style-type: none"> • Methode (Antigen-Schnelltest/PCR/Sonstige) • Art des Testes (Selbsttest/Fremdtest) • Testregime (freiwillig/verpflichtend, Häufigkeit, Stufigkeit) • zu testender Personenkreis 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneinsatz (Raum, Schutzausrüstung, Testkapazität) • Personalaufwand (Verteilung, Anleitung, Auswertung) • Schnelligkeit • Testgenauigkeit (Sensitivität/Spezifität) • Niedrigschwelligkeit

2.1.1 Methode und Test-Regime: Inzidenz-abhängiges Testen

In Bildungseinrichtungen herrscht eine verhältnismäßig hohe und auch durch Kohortierung nur begrenzt reduzierbare Personen- und Kontaktdichte. Gleichzeitig gibt es Hinweise darauf, dass durch die Altersverteilung ein höherer Anteil asymptomatischer Übertragungen zu erwarten ist als in der Gesamtbevölkerung [4].

Aus beiden Punkten lässt sich die Wichtigkeit der **Schnelligkeit** und der **Regelmäßigkeit** des Testens ableiten. Schon bei einem Verzug der Ergebnisse um einen Tag nimmt die Effektivität eines Screening-Regimes spürbar ab [5] und somit – v.a. bei relativ hoher Personen- und Kontaktdichte – die Anzahl der Personen, die in Isolation und Quarantäne müssen, zu [13].

Durch regelmäßige Tests, die zusätzlich zum sofortigen Testen bei **minimalen Symptomen** erfolgen, werden Personen, die (noch) keine Symptome aufweisen, frühzeitig identifiziert [9]. Antigen-Schnelltests können, unabhängig vom Alter und vom Vorliegen von Symptomen, Personen mit hohen, also ansteckungsrelevanten Viruskonzentrationen in über 90% der Fälle erkennen [14–17]. Durch die Regelmäßigkeit kann sogar eine 100%-ige Erkennungsrate erreicht werden [18].

Tabelle 2: Test-Regime in Abhängigkeit des lokalen 7-Tage-Inzidenzwertes

7-Tage-Inzidenz pro 100.000 Einwohner:innen ¹	>100 oder Ausbruch an Schule	35-100	<35
Nicht-symptomatische Testung (proaktives Screening)	Täglicher Schnelltest Bei Ausbruch: Täglicher Schnelltest über 7 Tage ²	2x/Woche Schnelltest (zweistufiger Test*) Alternative: 2x/Woche PCR-Pooltestung, soweit Infrastruktur vorhanden und Ergebnis innerhalb von 24h	Bei vorhandener Infrastruktur Sentinel- Testung mittels PCR- Pooling-Verfahren
Minimal-symptomatische Testung	Unverzögerlicher Schnelltest beim Auftreten von Minimalsymptomatik**		
Testart	Schule: Selbsttest; Kita: Tandem-Testung		
Anweisung	Empfehlung/Appell	Freiwilliger Screening-Test, Pflichttest bei (minimalen) Symptomen (oder Krankmeldung)	Pflichttest bei (minimalen) Symptomen(oder Krankmeldung)

¹Je nach Inzidenz alternative/weitere infrage kommende nicht-pharmazeutische Interventionen (z.B. Aussetzung der Präsenzpflicht, Wechselunterricht oder Schulschließung) sind nicht Teil des vorliegenden Papiers; ²Bei nachgewiesener Übertragung (Quellcluster) kann die tägliche Testung auf die Kohorte begrenzt werden; *Erläuterung zur Zweistufigkeit in Kapitel 2.2.2; **Erläuterungen zur Minimalsymptomatik in Kasten 1.

Unsere Empfehlungen (Tabelle 2) leiten sich v.a. aus Abwägungen zwischen Testaufwand und der erwarteten Anzahl der Personen, die entweder korrekt oder fälschlicherweise als ansteckend erkannt werden, ab (siehe Kasten 2):

- **bei einer 7-Tage-Inzidenz von >100/100.000** empfehlen wir für den Fall, dass die Schulen im Präsenzunterricht offen sind, einen täglichen Test für alle Angehörigen der Bildungseinrichtungen.
- **Für 7-Tage-Inzidenzen von 35-100/100.000** empfehlen wir den regelmäßigen zweistufigen Test (siehe Kasten 2) und ggf. die genauere Beobachtung der Population, in der nicht bestätigte Fälle beim ersten Testen aufgetreten sind.
- **Bei einer 7-Tage-Inzidenz von <35/100.000** sollte die TTI(Test, Trace, Isolate)-Effektivität der Gesundheitsämter gewährleistet sein. Daher sehen wir den erwarteten Anteil an falschen Ergebnissen als nicht mehr angemessen gegenüber einer klassischen TTI-Strategie an und empfehlen in diesem Falle keine regelmäßige, proaktive Durchführung von Antigen-Schnelltests, sondern nur noch das Testen bei Minimalsymptomatik.

- **Bei Minimalsymptomatik immer (unabhängig von aktueller Inzidenz):** Bei Minimalsymptomatik (Kasten 1) empfehlen wir jederzeit einen sofortigen Schnelltest, da hier die Vortestwahrscheinlichkeit relevant erhöht ist.

Insbesondere der Symptombeginn einer SARS-CoV-2-Infektion ist unspezifisch und verläuft in den ersten Stunden und Tagen meist mild. Häufig berichten Betroffene von Kopf- und Gliederschmerzen, leichtem Halskratzen oder einer ungewöhnlichen Müdigkeit (Fatigue) [19]. Das Bewusstsein dafür, dass auch leichtes Unwohlsein bereits auf eine Infektion hindeuten kann und ein Antigen-Schnelltest erfolgen sollte, muss durch eine gute Kommunikation geschaffen werden. Davon zu unterscheiden sind spezifische Symptome wie Husten, Geschmacks- oder Geruchsverlust und Fieber. Bei spezifischen Symptomen muss im Einzelfall entschieden werden, ob nicht direkt ein diagnostischer Test (PCR) angebracht ist. Die Grenze zwischen unspezifischen und spezifischen Symptomen ist jedoch fließend, so dass im Zweifel und sofern verfügbar neben der Isolation vorab immer ein Schnelltest sinnvoll ist. Ein zweiter Antigen-Schnelltest am Folgetag nach einem negativen Ergebnis ist hier zudem in jedem Fall ratsam.

Kasten 1: Beispiele für Minimalsymptomatik (**):

Unspezifisch

Kopfschmerzen
Rückenschmerzen
Gliederschmerzen
Müdigkeit
"Halskratzen"
Bauchschmerzen mit oder ohne Übelkeit und Durchfall
Muskelschmerzen

Spezifisch

Störung des Geruchs- und/oder Geschmackssinns
Fieber
Husten
Halsschmerzen
Schnupfen mit Fieber >38°C

Auch bei Einsatz hochspezifischer Tests (>99,5% Spezifität) wird die Zahl falsch-positiver Ergebnisse rein rechnerisch die Zahl richtig-positiver Ergebnisse unterhalb einer tatsächlichen Prävalenz von etwa 550 infektiösen Personen/100.000 zahlenmäßig übertreffen. Damit verbundene Einbußen an Vertrauen in die Tests können jedoch Schaden anrichten, wenn diese Tatsache nicht vorher proaktiv kommuniziert und damit eine

realistische Erwartungshaltung erzeugt wird. Daher sollten **hochsensitive und spezifische Tests (Sensitivität >90%, Spezifität >99,5%)** eingesetzt werden. Weitere Auswahlkriterien an das Testsystem sind in Tabelle 3 zu finden.

Kasten 2: Abwägung des Test-Regimes (*) - ein Rechenbeispiel:

Bezüglich der Spezifität beruhen unsere Überlegungen auf der Tatsache, dass bei anlasslosem und symptomlosen Testen die Vortestwahrscheinlichkeit in Zeiten mit geringen Fallzahlen eher niedrig ist, und damit der Positive Prädiktive Wert (PPV) ebenfalls eher niedrig sein wird. Der PPV, also der Wert, der aussagt, wie hoch der Anteil der richtig-positiven Ergebnisse an allen positiven Ergebnissen ist, ist vor allem abhängig von der Spezifität der verwendeten Tests und der Vortestwahrscheinlichkeit (PTP: pre-test probability; meist durch die Prävalenz angenähert). Die PTP ist umso höher, je höher der Anteil tatsächlich Positiver in der Testpopulation ist. Die folgende Berechnung basiert auf vereinfachten Annahmen und lässt beispielsweise außer Acht, dass das Verhalten einzelner Personen(-gruppen) ebenfalls einen Einfluss auf die Vortestwahrscheinlichkeit hat. Ein Inzidenzwert der Gesamtpopulation kann daher immer nur einen sehr groben Schätzwert liefern.

Bei den groben Annahmen einer Dunkelziffer von 5x (laut RKI bis 10.12.2020 durchschnittlich 4-6x [20]) und einer durchschnittlichen infektiösen Phase von 7 Tagen [vgl. 18] würde man bei einer 7-Tage-Inzidenz von 100/100.000 (also einem Erwartungswert von 500 infektiösen Personen unter 100.000 Getesteten) mit einem Test mit einer Spezifität von 99,7% [Durchschnittswert laut 21] und einer Sensitivität von 90% (bezogen auf infektiöse Personen [21]) etwa auf einen PPV von 60% kommen, d.h., bei 100.000 Getesteten entdeckte man 450 richtig-positive Fälle (Infektiöse), bekäme aber zusätzlich 300 Falsch-Positive bei 50 Falsch-Negativen (Infektiöse) dazu. Mit einer Anschlussstestung mit einem identisch performenden orthogonalen Test eines anderen Herstellers (der wahrscheinlich ein anderes Epitop erkennt) und bei Annahme, dass keiner der falsch-positiven Fälle eine auch auf den anderen Test zutreffende systematische Ursache hat, könnte man die Aussagekraft der Tests zusätzlich erhöhen. Um nun die Spezifität zu erhöhen, müssten alle widersprüchlichen Testkombinationen (1x positiv plus 1x negativ) als negativ bewertet werden. Dann bekämen 405 von 500 tatsächlich infektiösen Personen ein positives Endergebnis, aber nur 1 der Negativen ein falsch-positives. Daraus ergibt sich eine rechnerische Sensitivität von 81% und Spezifität von 99,9991%. Eine Nachtestung mit einem orthogonalen Schnelltest hätte in diesem Bereich also einen Verlust an Sensitivität zur Folge, würde jedoch Falsch-Positive nahezu ausschließen. Bei einer 7-Tage-Inzidenz von 35/100.000 dagegen (hier nehmen wir konservativ keine Dunkelziffer an, da die TTI-Kapazitäten des ÖGD funktionieren sollten) kämen auf 31 richtig-positive Ergebnisse im einstufigen Testverfahren weiterhin 300 falsch-positive. Im zweistufigen Testverfahren würde man 28 der 35 tatsächlich ansteckenden Personen erkennen, und erhielte wieder nur 1 falsch-positives Ergebnis. Für die Abschätzung des Toleranzbereichs bei Falsch-Negativen ist relevant, dass rund 80% aller Infizierten keine Infektionsketten auslösen [2]. Die Zweistufigkeit lässt also im Bereich 35-100/100.000 keine nennenswerten Änderungen im Zusammenhang mit leicht reduzierter Sensitivität erwarten, da statistisch gesehen von den maximal 95 möglicherweise übersehenen infektiösen Personen bei einem zweistufigen Test im oberen Grenzbereich von 100/100.000 nur etwa 20 überhaupt potenzielle Indexfälle sein würden. Auch aus diesem Grund ist jedoch die weitere Einhaltung der gängigen Präventions- und Hygienemaßnahmen an den Einrichtungen zwingend notwendig.

2.1.2 Durchführung und Auswahl des Testsystems

In der **Übergangszeit (Phase 1)** kann es keine Option sein, an den Schulen nicht zu testen! Da bisher jedoch keine CE-zertifizierten Tests für die Selbsttestung zu Hause in Deutschland erhältlich sind, aber die Abgabe von Point-of-Care-Tests (PoCT) an Angehörige von "Gemeinschaftseinrichtungen" nach § 33 IfSG seit Dezember 2020 erlaubt ist, empfehlen wir für Phase 1 die **Schulung pädagogischen und technischen Personals zur Selbsttestung** und bei **Schüler:innen eine beaufsichtigte Selbstentnahme** in Form einer Off-Label-Nutzung (Rechtliche Abwägung: Kasten 3).

Kasten 3: Rechtliche Abwägung

Seit dem 19.11.2020 ist der Arztvorbehalt aus § 24 S. 1 IfSG für In-vitro-Diagnostika, die für Patienten-nahe Schnelltests bei Testung auf SARS-CoV-2 verwendet werden, aufgehoben (§ 24 S. 2 IfSG). Danach können auch Lai:innen, die im Umgang mit entsprechenden Tests geschult sind, diese anwenden. Abgegeben werden dürfen solche Tests wegen § 3 Abs. 4 S. 1 MPAV zu diesem Zeitpunkt allerdings nur an Ärzt:innen und weitere professionelle Akteur:innen des Gesundheitswesens. Durch die Verordnungen zur Änderung der Medizinprodukte-Abgabeverordnung im Rahmen der epidemischen Lage von nationaler Tragweite wurden allerdings Ausnahmeregelungen geschaffen. Seit dem 3.12.2020 dürfen daher auch Gemeinschaftseinrichtungen i. S. d. § 33 IfSG (u. a. Schulen und Kitas) Antigen-Schnelltests beziehen. Das erklärte Ziel beider rechtlicher Anpassung war es, einen breiteren Einsatz von Schnelltests zur Vermeidung und Unterbrechung von Infektionsketten und Ausbrüchen in diesen Einrichtungen zu erreichen (vgl. für Schulen RefE d. BMG v. 30.11.2020, 5). Erst seit dem 3.2.2021 ist die Abgabe von In-vitro-Diagnostika für die Eigenanwendung, die für den direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2 bestimmt sind, an Privatpersonen erlaubt (Anlage 3 MPAV).

Aktuell existieren auf dem Markt keine Schnelltests im letztgenannten Sinne, die das erforderliche Konformitätsbewertungsverfahren vor einer benannten Stelle durchlaufen oder eine entsprechende Sonderzulassung durch das BfArM erhalten haben und daher an Privatpersonen zur Eigenanwendung abgegeben werden dürfen. Es stellt sich daher die Frage, ob die bisher verfügbaren Tests, soweit sie zulässig an Gemeinschaftseinrichtungen wie Schulen und Kitas abgegeben wurden, durch die Testpersonen als Selbsttests eingesetzt werden dürfen. Der Arztvorbehalt des § 24 IfSG steht dem nicht entgegen. Soweit eine entsprechende Einweisung in die Anwendung als Selbsttests stattgefunden hat, ist eine Anwendung als eine Art des sog. Off-Label-Use denkbar. Hier muss insbesondere berücksichtigt werden, dass das BMG keine Bedenken gegen sog. Einsendekits hat, bei denen die Probenentnahme durch die Testperson selbst erfolgt und der PCR-Test anhand des zurückgesendeten Probenmaterials durch geschultes Personal durchgeführt wird [22]. Denn letztlich wird auch in diesen Fällen das Risiko einer falschen Probenentnahme durch Lai:innen hingenommen. Soweit in der medizinrechtlichen Literatur Einwände gegen den Off-Label-Use von Medizinprodukten erhoben werden [23], müssen diese von den politischen Verantwortungsträgern bei ihrer Entscheidung bedacht werden.

Bei Lehrer:innen und anderem Betreuungspersonal von Gemeinschaftseinrichtungen würde ein entsprechender Einsatz in einer Übergangszeit (Phase 1) erfolgen. Tatsächlich hat dies u. a. auch schon in Sachsen-Anhalt oder i. R. v. Pilotprojekten (Hessen) stattgefunden [9,24]. Rechtliche Bedenken gegen diese Vorgehensweise sind bislang nicht geäußert bzw. bekannt geworden. Zur möglichst effektiven Erreichung des auch vom Ordnungsgeber (BMG) und dem Gesetzgeber erstrebten Zwecks, der Vermeidung und Unterbrechung von Infektionsketten und Ausbrüchen in diesen Einrichtungen, wäre der Einsatz dieser Tests allerdings, im Unterschied zur bisher bekannten Vorgehensweise, als Heimtests anzuraten. Auf diesem Wege können potenzielle Virusübertragungen auf dem Weg in die Einrichtungen und vor Ort vermieden werden. Bei Schüler:innen sowie Kindern in anderen Gemeinschaftseinrichtungen ist eine Anwendung als Heimtest allerdings nicht möglich. Die derzeit verfügbaren Tests dürften nur in den Einrichtungen eingesetzt werden. Hier ist es denkbar, nach der Einweisung der Kinder, Selbsttests zu ermöglichen, die unter der Überwachung durch geschultes Personal stattfinden.

Sobald Antigen-Schnelltests auf dem Markt verfügbar sind, die das erforderliche Konformitätsbewertungsverfahren vor einer benannten Stelle durchlaufen bzw. eine entsprechende Sonderzulassung durch das BfArM erhalten haben, können diese an alle Privatpersonen abgegeben werden. Ab diesem Zeitpunkt (Phase 2) sind Selbsttests von Lehrer:innen, Betreuer:innen sowie Schüler:innen und betreuten Kindern in häuslicher Umgebung möglich.

Bei einer niedrigen 7-Tage-Inzidenz von $<35/100.000$ kann schon bei konsequenter Selbsttestung des Personals bei Minimalsymptomatik oder durch PCR-Pooling-Testungen im Sinne einer Sentinel-Testung Infektionsgeschehen vor Ort aufgedeckt und schnell reagiert werden. Bei vorliegendem Infektionsgeschehen sollte eine Nachtestung positiver Personen und im Bestätigungsfall auch eine Testung der Kohorten in Nachtestzentren (siehe 2.2.3) (oder in kleinen Kommunen bei niedergelassenen Ärzt:innen) z.B. durch PCR durchgeführt werden.

Relevanter ist die Durchführung in Phase 1 jedoch für den Bereich moderater oder erhöhter 7-Tage-Inzidenz (>35/100.000), in dem sich die meisten Kommunen derzeit befinden. Hier kann an geöffneten Bildungseinrichtungen auf eine Testung, auch vor der Einführung von expliziten Selbsttests, nicht verzichtet werden. Eine regelmäßige Screening-Testung muss daher vor Ort an den betroffenen Schulen implementiert werden, um zumindest einen Wechselunterricht mit alternierender Präsenz zu gewährleisten.

Konzeptuell könnte folgende **Infrastruktur** aufgebaut werden:

- Die Einverständniserklärung der Eltern ist einzuholen
- angeleitete Selbstentnahme des Abstrichs/Probenmaterials durch Kinder ab Klasse 5 bzw. bei jüngeren Kindern durch deren Eltern vor Schulbeginn im Außenbereich der Schulen unter Einhaltung der Abstandsregeln (vorderer Nasenabstrich, ggf. Speicheltest)
- Entzerrung durch Staffelung des Unterrichtsbeginns und Staffelung der Testtage
- die Prozessierung der Tests erfolgt im Innenbereich (Turnhalle/Aula) unter Einhaltung der Abstandsregeln und Bereitstellung von Raumlüftern in kohortierten Gruppen durch die Schüler:innen ab Klasse 5 unter Aufsicht einer geschulten Person selbst
- Temperatur der Testkits darf nicht außerhalb der Herstellerangaben fallen, da z.B. zu kalte Reagenzien zu falsch-positiven Ergebnissen führen können [25].
- Alternativ werden die Proben gepoolt und an ein Labor zur PCR-Analyse versendet. Dazu müssen vor Ort die notwendige Infrastruktur für einen schnellen Transport, Rückstellproben etc. vorhanden sein. Dieses Verfahren ist vor allem im niedrigen Inzidenzbereich anzusiedeln, da mit zunehmender Prävalenz der Anteil positiver und damit aufzulösender Pools ansteigt und somit zu ungleich erhöhtem Testaufwand führt.
- Aufsicht bei der Durchführung von Antigen-Schnelltests erfolgt durch speziell geschultes Personal der Schule oder externe Unterstützung (Dienstleister, ÖGD, Bundeswehr)
- in Grundschulen werden die Tests durch speziell geschultes Personal der Schule oder externe Unterstützung prozessiert
- In Phase 2 (Selbsttests) sollte für Schüler:innen eine Möglichkeit (z.B. Raum im Eingangsbereich) geschaffen werden, um diesen bei Versäumnis nachzuholen

Bei positivem Ergebnis erfolgt die **sofortige Information und temporäre Isolation** der positiven Person (und deren Erziehungsberechtigten) und die Weiterleitung an ein **Nachtestzentrum** in dem eine PCR veranlasst wird (alternativ ein orthogonaler Antigen-Schnelltest, siehe Abschnitt Reaktion unter 2.2).

Bei **Vorliegen von Selbsttests (Phase 2)** erfolgt die Abgabe der Tests durch die Schulen oder durch von den Schulen auszugebende Voucher oder QR-Codes mit Anbindung einer App durch die Apotheken. Die Selbsttests werden **morgens vor Besuch der Bildungseinrichtung** im oben definierten Rhythmus durchgeführt. Apotheken können zusätzlich zur Aufklärung und Information beitragen. Bei der Auswahl der Tests können folgende Kriterien herangezogen werden (Tabelle 3):

Tabelle 3: Auswahlkriterien für Antigen-Schnelltests in Phase 1

Kriterium	Erläuterung
Testgenauigkeit	Sehr hohe Spezifität (>99,5%) und hohe Sensitivität (>90%) bei hohen Viruskonzentrationen* gemäß unabhängiger Validierungsstudie (Übersicht) oder vorliegende Evaluierung/Validierung durch das PEI oder BAG oder gelistet in gemeinsamer EU-Liste .
Leichte Handhabung	Betrifft v.a. Probenentnahme, Zugabe der Pufferlösung, Auftragen auf Testkassette.
Vereinzelbarkeit	Alle benötigten Materialien müssen in die gewünschte Anzahl Testkits aufteilbar sein.
Zulassung	PoC-Schnelltest muss für den (vorderen) Nasenabstrich CE-zertifiziert sein

*Sensitivität bei Viruskonzentrationen $\geq 10^6$ RNA-Kopien/ml bzw. $Ct \leq 25$. Dafür muss in die Validierungsstudie reingeschaut werden, weil in der Tabelle auf diagnosticsglobalhealth.org die Gesamtsensitivität bei allen (inkl. geringen) Viruskonzentrationen der untersuchten Proben angegeben ist.

2.1.3 Altersgerechtes Testen

Altersgerechte Teststrategien sind zentral zur **Sicherung der Mitwirkungsbereitschaft** bei Kindern und Sorgeberechtigten. Aufgrund der bereits bestehenden Rechtssicherheit bei erwachsenen Angehörigen von "Gemeinschaftseinrichtungen" nach § 33 IfSG fungieren diese prinzipiell als **Sentinel** und sollten daher sofort in einer Teststrategie erfasst werden. Abgestuft mit dem Alter der Testperson muss auf die Zumutbarkeit der Testmethode Rücksicht genommen werden. Für **Kinder im Schulalter** kann daher ein **anterior-nasaler Abstrich** zum Einsatz kommen. Für **Kinder im Kindergartenalter und jünger** sollte auf

Spuck- oder Lolly-Tests als Alternative zur Verfügung gestellt werden, falls der vordere Nasenabstrich vom Kind nicht angenommen wird. Zur Kompensation daraus resultierender Sensitivitätseinbußen oder bei Nicht-Akzeptanz kann die zusätzliche Testung mittels nasalem Abstrich der Eltern in Form einer **Tandem-Testung** in Erwägung gezogen werden, welche ohnehin die Tests bei ihren Kindern durchführen. Gleichzeitig kann es in einem weniger sensitiven Testsystem notwendig sein, Quarantänemaßnahmen umfassender anzuordnen und ggf. die Quarantänisierung einer kompletten Kohorte vorzusehen.

Zentral bei der Implementierung von Testungen im Elementar- und Kita-Bereich ist zudem eine **altersgerechte Kommunikation** (s. Abschnitt 2.4)

2.2 Reaktion und abgeleitete Maßnahmen

2.2.1 Überblick

Das sofortige Antreten einer Isolation ist essenziell für den eindämmenden Effekt von Schnellteststrategien. Daher bedarf es einer **gesetzlichen Grundlage einer Quarantäne- oder Isolations-Anordnung durch die Schule** oder einer Allgemeinverfügung, die das eigenverantwortliche Antreten einer solchen Maßnahme nach positivem Schnelltest exekutiert. Eine solche ist in den Landesverordnungen zu schaffen.

Ein positiver Schnelltest wird in Phase 1 über die Schulen bzw. spätestens über das Nachtestzentrum gemeldet. Bei einem positiven Selbsttest zu Hause sollte man sich unverzüglich an die Schule und den Hausarzt/die Hausärztin, das Gesundheitsamt oder den kassenärztlichen Bereitschaftsdienst wenden, um das weitere Vorgehen mitgeteilt zu bekommen. Idealerweise kann dies auch durch Meldung des positiven Ergebnisses über eine App erfolgen (siehe 2.3).

2.2.2 Möglichkeiten zur Nachtestung (*Zweistufigkeit)

Je niedriger die Zahl (tatsächlich) Infizierter in der Bevölkerung, umso höher wird der Anteil der falsch-positiven Ergebnisse an allen positiven Ergebnissen sein. Um zu verhindern, dass dadurch ein **Vertrauensverlust** in die Aussagekraft der Tests und somit mangelnde Mitwirkungsbereitschaft entsteht, besteht die Möglichkeit eines **zweistufigen Testregimes**. Dieses führt zur Reduktion von Falsch-Positiven und somit Erhöhung der Spezifität, jedoch unter Verlust eines gewissen Grades an Sensitivität. Folgende Möglichkeiten einer zweiten Testung kommen in Betracht:

- Orthogonale Tests: Verwendung eines zweiten Schnelltests (anderes Fabrikat)
- Erneute Testung mit demselben Schnelltest, entweder sofort oder am Folgetag (und zwischenzeitliche Selbstisolation)
- PCR-Test, der generell für die Bestätigung positiver Schnelltests geeignet ist

Diese Optionen müssen **situationsbedingt abgewogen werden**, da für die Akzeptanz der Maßnahmen der Aufwand einer Nachtestung, die Wartezeit bis zum Ergebnis der Nachtestung und die (gefühlte) Häufigkeit falsch-positiver Ergebnisse sehr relevant sind.

Daraus ergäbe sich folgendes Fließschema (wobei die Option "zu Hause" für Kinder erst ab Phase 2 zur Verfügung steht; Abbildung 2):



Abbildung 2: Fließschema der Teststufen

Die orthogonale Nachtestung schont die PCR-Kapazitäten, da diese nicht durch (zu erwartende) Falsch-Positive belastet werden. Es sollte jedoch auf Wunsch auch **immer die Option einer PCR-Bestätigung** bestehen, um die Akzeptanz der Maßnahmen zu erhalten.

2.2.3 Nachtestzentren

Nachtestzentren sollten in jedem Schulbezirk eingerichtet werden und sowohl orthogonale Nachtestungen (siehe 2.2.2) als auch PCR-Tests zur Bestätigung anbieten. Nachtestzentren werden bei Ausrollen von Screeningtests in die Schüler:innenschaft eine zentrale Rolle spielen und sollten daher zeitnah implementiert werden. Auch die Einrichtung jeweils einer mobilen Testeinheit pro Schulbezirk sollte in Erwägung gezogen werden. Die Zusammenarbeit mit NGOs oder privaten Dienstleistern ist dafür zu prüfen. In kleineren Orten bietet sich ggf. auch die Zusammenarbeit mit Hausarztpraxen an, die bereits PCR-Abstriche durchführen. Vor allem in Phase 2, wenn Menschen orthogonale Tests selbstständig durchführen können, wird der Fokus hier auf der **PCR-Bestätigung positiver**

Schnelltests liegen. Die orthogonale Nachtestung sollte jedoch auch hier eine Option sein, da dadurch PCR-Kapazitäten entlastet werden. In jedem Fall sollte das Ziel des Ausbaus der Testinfrastruktur sein, eine Nachtestung samt Ergebnisübermittlung innerhalb von 24 Stunden zu gewährleisten.

Die infrastrukturelle Organisation der Nachtestzentren sollte am individuellen Bedarf der Kommunen ausgerichtet werden, sollte jedoch folgende Kriterien berücksichtigen:

- Buchung per App/QR/Hotline
- Vergabe per PPP an Dienstleister oder ÖGD/Bundeswehr denkbar
- Ziel: Termin zu orthogonaler Testung **am gleichen Tag**
- Antigen-Schnelltest plus positiver orthogonaler Test gilt als gesichert, auf Wunsch PCR-Bestätigung zur Erhöhung der Compliance möglich

Nach positivem und bestätigtem Antigen-Schnelltest, erfolgt eine Isolation und TTI entsprechend geltender Verordnungen. Bei Vorliegen einer Selbsttestzulassung kann in Abstimmung mit den Behörden vor Ort eine Freitestung durch zwei an Folgetagen erfolgte negative Schnelltests in Erwägung gezogen werden [26]. Darüber hinaus empfehlen wir für Kontaktpersonen 1. Grades, die sich in häuslicher Quarantäne befinden, die tägliche Testung zusätzlich zu den behördlichen Anordnungen, um bei positivem Ergebnis weitere sinnvolle Maßnahmen zu ergreifen (Quarantäne der Haushaltsmitglieder, je nach Alter Isolation innerhalb des Haushaltes).

2.3 App (optional)

Die Koordination von **Zugang, Surveillance und Information** basiert auf einer Schnelltest-App, die zunächst für Bildungseinrichtungen entwickelt wird, aber auch bei bevölkerungsweitem Screening angewendet werden kann (Abbildung 3). Diese basiert auf einem kohortengenau zuordenbaren verschlüsselten **QR-Code**. Apps mit einer solchen Funktionsweise **befinden sich bereits in der Anwendung** und können einen solchen Ablauf **datenschutzkonform** gewährleisten, z.B. [Luca-App](#) [27]. Da die Schultestungen jedoch sofort begonnen werden sollen, kann die Einbindung einer App auch optional erfolgen.

Die App funktioniert nach folgendem Prinzip ("digitales Klassenbuch"):

- Kind meldet sich (via Erziehungsberechtigtem) im System an
- Lehrer:innen installieren App und Kinder installieren App optional auf Smartphone oder bekommen verschlüsselten QR-Code von der Schule als Schlüsselanhänger
- In jeder neuen Zusammensetzung einer Klasse scannen Lehrer die QR-Codes aller Schüler:innen
- Meldung eines positiven Schnelltests: "Code gelb" an Schule, Lehrer:innen können alle Schüler:innen aus Kontakt-Kohorten informieren (manuell über App Output und via Smartphone für Kinder mit installierter App): Handlungsanweisung, z.B. Schnelltest bereits am nächsten Morgen zu machen
- bei bestätigtem Positiv-Ergebnis: "Code rot": automatische Meldung aller fKontaktpersonen an das zuständige Gesundheitsamt und Rückmeldung an alle Nutzer mit installierter App die als Kontaktperson registriert wurden
- Erinnerungsfunktion, den Test zu machen

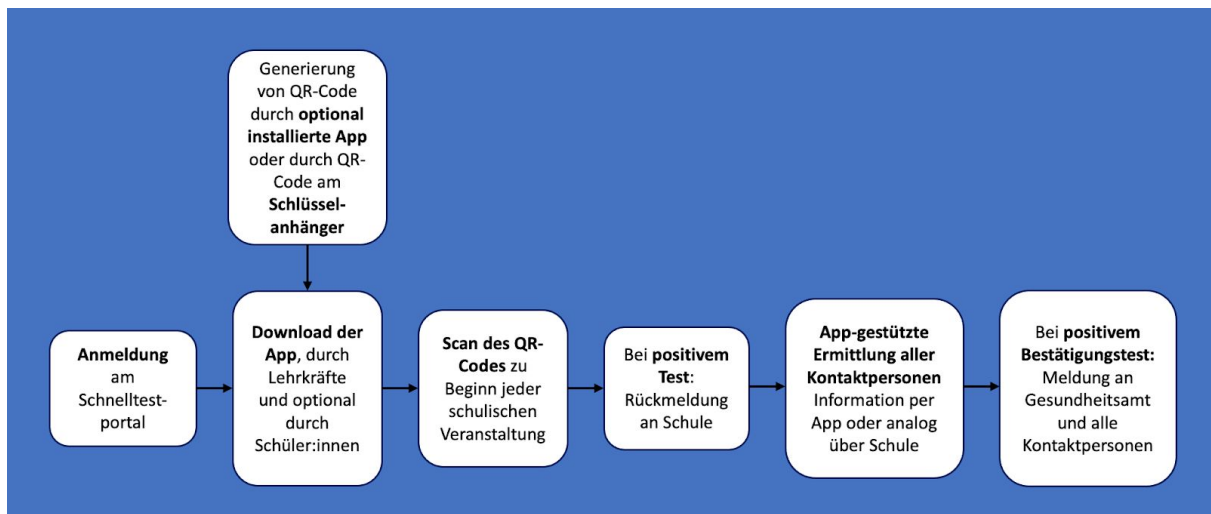


Abbildung 3: Funktionsweise einer geeigneten App

Vorteile der App:

- 1) Erinnerungsfunktion
- 2) Monitoring und Schnittstelle zum Meldesystem
- 3) Schul-/Kohortengenaue Erfassung der Positivrate auch in Phase 2 (Selbsttests)
- 4) standardisierte Handlungsanweisung bei positivem Test

2.4 Compliance/ Kommunikation

2.4.1. Freiwillige und verpflichtende Teilnahme

Wir schlagen vor, SARS-CoV-2-Testungen an Einrichtungen auf **freiwilliger Basis** durchzuführen, da wir davon ausgehen, dass dies die Compliance gegenüber den Antigen-Schnelltests in der Durchführung und der Bereitschaft, die entsprechenden Maßnahmen bei positivem Testergebnis umzusetzen, steigert. Eine gute Testbereitschaft und Compliance in dieser Kohorte hat Symbolcharakter, da ein Ausrollen der Antigen-Schnelltests auf die gesamte Bevölkerung ein sinnvolles Ziel in der nationalen Teststrategie sein muss.

Selbstverständlich gäbe es auch die in Österreich praktizierte Option, in der eine Testpflicht an die Präsenz gekoppelt ist. Dies würde dann folgendermaßen umgesetzt: Wer die Schule besuchen will, muss sich testen. Für alle anderen gilt Fernunterricht. Bei einer 7-Tage-Inzidenz $<35/100.000$ wird Testen nur noch bei Symptomatik empfohlen. In diesem Fall entfällt die Testung durch eine Krankmeldung bei gleichzeitiger Reetablierung der Präsenzpflcht. Somit besteht eine Wahl zwischen Präsenzunterricht mit Testpflicht oder Fernunterricht ohne Test. Eine erzwungene Testpflicht in Kombination mit Präsenzpflcht halten wir jedoch für psychologisch ungünstig. Zudem weisen wir darauf hin, dass eine Testpflicht nicht ohne Weiteres mit Selbsttestungen zu Hause zu vereinbaren ist und allein die **Anreise zur Schule**, um dort ggf. einen positiven Test zu erhalten, bereits zu weiteren **Sekundärinfektionen** führen könnte. Ein freiwilliges Selbsttesten zu Hause ist psychologisch **sinnvoller, niedrighschwelliger und risikoärmer**.

2.4.2. Maximierung der Mitwirkungsbereitschaft

Da die Mitwirkungsbereitschaft den größten Einfluss auf den Erfolg der Maßnahmen hat, ist die Kommunikation zur Herstellung der Mitwirkungsbereitschaft sehr wichtig.

Daher benötigt die öffentliche Kommunikation ein **Reframing** von Antigen-Schnelltests: Weg von einem Image, das die Aussagekraft grundsätzlich infrage stellt, hin zur Kommunikation, dass Antigen-Schnelltests (wie Masken oder Abstand) nicht perfekt sind, aber als ergänzende Maßnahme eine **gute, zusätzliche Sicherheit** bieten.

Eine weitere Frage, die im Vorfeld geklärt werden müsste, ist die Frage der **Kostenübernahme**. Auch hier kann die Mitwirkungsbereitschaft durch Übernahme der Kosten durch den Bund/die Länder erhöht werden. Sollten Antigen-Schnelltests in Phase 2 nicht mehr durch die Schulen ausgegeben werden, müssen sie dennoch kostenfrei bleiben. Ein Test, den man vor allem zum Schutz von anderen macht, darf finanziell nicht zur eigenen Belastung werden.

Gleichzeitig muss nicht nur **zur regelmäßigen Testung motiviert** werden, sondern auch zur Mitwirkung an den aus einem positiven Ergebnis abgeleiteten Maßnahmen, insbesondere der Isolation. Grundsätzlich geht einer Testbereitschaft die Bereitschaft zur Umsetzung der Konsequenzen voraus. Hier sollten **Arbeitsmarktinstrumente** verbessert werden, um die Bereitschaft zur Isolation und Quarantänisierung (vor allem in Phase 2) zu erhöhen, z.B. durch einen 100% Lohnausgleich und Kündigungsschutz in Isolation nach positivem Schnelltest. Im Fall von Kindern, die positiv getestet wurden, entsprechend auch für die Sorgeberechtigten. Auch für nachträglich als falsch-positiv erkannten Schnelltest-Ergebnisse braucht es **Rechtssicherheit** bezogen auf die Wartezeit bis zum PCR-Ergebnis.

2.4.3. Informationsmöglichkeiten für Teilnehmende

Zentral ist zudem eine **niedrigschwelle und barrierefreie, mehrsprachige** (inklusive einfache Sprache und Gebärdensprache) **Informationskampagne** in allen verfügbaren Medien. In dieser Informationskampagne müssen auch Apotheken und niedergelassene Ärzt:innen eingebunden werden. Die Beteiligung privater Gesundheitsdienstleister:innen und **Multiplikator:innen** sollte geprüft werden. In allen Schulen ist unbedingt eine **Kick-off-Veranstaltung** in Form eines virtuellen Elternabends vorzusehen, bei der die für die jeweilige Schule benannte Verantwortungsperson für Einweisung und Fragen zur Verfügung steht. In den Kindertagesstätten sollte eine intensive Aufklärung der Eltern durch die Träger erfolgen (z.B. per Videokonferenz) sowie aufsuchende altersangepasste Aufklärung in den Einrichtungen durch den Kinder- und Jugendgesundheitsdienst, Medizinstudierende, Sozialarbeiter:innen etc., z.B. mit Zahnarzt-Bauchrednerpuppen zum Einführen und Erklären. Eine Kommunikationskampagne durch eine professionelle Agentur sollte dazu geprüft werden. Außerdem muss eine bundesweite **Telefonhotline** eingerichtet werden.

Niemand darf mit einem positivem Schnelltestergebnis allein gelassen werden.

Weitere Bausteine einer Kommunikationskampagne können sein:

- Schnelltest-App für Kinder attraktiv machen (durch Belohnungssystem)
- Informationsmaterial als Bilderbuch
- aufsuchende Jugend- und Sozialarbeit für Schulung einbinden, Multiplikator:innen vor Ort einbinden
- Kinder in der Schule schulen (Kinder tragen ihr Wissen in die Familien, das erhöht die Erreichbarkeit bei Familien in Brennpunktbezirken oder mit Sprachbarrieren)
- Informationsveranstaltungen in den Schulen und Kitas anbieten (Videokonferenzen mit Erklärung der Tests)
- Rückmeldung der lokal gemeldeten Fälle in der App zur Motivation und verbesserten Risikoeinschätzung
- Erinnerung zur regelmäßigen Durchführung des Tests (App, Verknüpfung mit Morgenroutine: Aufkleber für Spiegel, Zahnpasta-Tube)

2.5 Evaluation und Surveillance

Zur Sicherstellung der Surveillance werden orthogonale Testungen und PCR-Tests, die in den Nachttestzentren durchgeführt werden, grundsätzlich dokumentiert und dem **Meldewesen** sowie optional **wissenschaftlichen Studien** zugeführt (Patientenaufklärung und -Einwilligung vor Ort). Außerdem werden von den Schulen ausgesprochene Quarantänen/Isolationen an die Behörden weitergeleitet. Aufgrund der QR-basierten Erfassung der ausgegebenen Tests, kann eine Positivrate erfasst, den Schulbezirken zugeordnet und an die App-Nutzer zurückgemeldet werden. Zur Beurteilung und Monitoring des Testprogramms sollte auch die Möglichkeit geschaffen werden negative Testergebnisse zu erfassen.

Zum Monitoring neuer Varianten sollten positive PCR-Ergebnisse bei Clustern über drei Personen zusätzlich sequenziert werden.

Die Schnelltest-App (die den Zugang und die Ergebnisse der Schultestungen in Phase 1 und der Selbsttestungen zu Hause in Phase 2 dokumentiert) sollte eine Schnittstelle zur Corona-Warn-App bekommen. Ebenfalls kann eine Anbindung an SORMAS sinnvoll sein.

Im Optimalfall kann die Schnelltest-App nicht nur manuell eingegebene Testergebnisse erfassen, sondern auch mittels Künstlicher Intelligenz Fotos von Antigen-Schnelltests auswerten oder zur unterstützenden Diagnosestellung an eine zentrale Stelle weiterleiten.

Künftig sollten Antigen-Schnelltests mit einem eindeutigen QR-Code ausgegeben werden. Dies unterstützt die Erfassung von Ergebnissen und gewährleistet auch über das Schulsetting hinaus bei bevölkerungsweitem Screening ein einfaches Monitoring des Infektionsgeschehens. Antigen-Testungen können so auch in das Meldesystem eingebunden werden. Eine Entwicklung dieser App ist somit ressourcentechnisch nicht allein auf das Setting Schule beschränkt. Bei einer dem Datenschutz gerecht werdenden Granularität der ausgegeben Codes lässt sich so auch das räumliche Auftreten von Fällen besser überwachen und Maßnahmen zielgerichteter einsetzen. So könnten beispielsweise QR-Codes einer Schule zuordenbar ausgegeben werden, dann aber zufällig innerhalb der Schule verteilt werden.

3. Praktische Umsetzung vor Ort

Wir bauen derzeit eine Seite mit **Checklisten** und **Best-Practice Beispielen** aus Kommunen und Ländern auf, die als Beispiele für die praktische Umsetzung genutzt werden können. Diese finden Sie unter <https://rapidtests.de/schule>.

Verfasser:innen: Das RapidTests-Team, namentlich

Dr. rer. nat. Franziska Briest (Biochemikerin mit Schwerpunkt Molekulare Medizin)

Nikolaus Kolb (MSc Epidemiology)

Christian Erdmann (Ernährungswissenschaftler)

Alexander Beisenherz (Arzt)

Dr. rer. nat. Aileen Hochhäuser (Arzneimittelwissenschaftlerin und Medizinredakteurin)

Marc Bota (Arzt, Leiter Intensivstation)

Henning Lorenz (M.mel., Jurist)

Dr. rer. nat. Cathleen Pfefferkorn (Virologin)

Dr. rer. nat. Jonas Binding (Biophysiker)

Dr. med. Christine Busch (Ärztin in Weiterbildung Kinder- und Jugendmedizin)

Beratend: Dr. med. Claudia M. Denking (Leiterin der Klinischen Tropenmedizin am Universitätsklinikum Heidelberg, FÄ für Innere Medizin und Infektiologie)

Über die Initiative RapidTests

Wir sind ein ehrenamtlicher Thinktank mit naturwissenschaftlich-medizinischem Hintergrund und kooperieren eng mit dem US-amerikanischen RapidTests-Team, dem Harvard-Epidemiologen Dr. Michael Mina sowie verschiedenen deutschen Wissenschaftler:innen. Unser Ziel ist die Pandemieeindämmung. Wir wollen, dass günstige, schnelle, regelmäßig durchführbare, ausreichend zuverlässige SARS-CoV-2-Selbsttests in Deutschland (idealerweise weltweit) möglich bzw. verfügbar gemacht werden, um über ein weiteres Werkzeug zu verfügen, das uns helfen kann, die COVID-19-Pandemie mit möglichst wenig negativen Folgen für Gesundheit, Gesellschaft, Bildung und Wirtschaft zu meistern. Wir haben weder finanzielle Interessen an SARS-CoV-2-Tests, noch fördern wir einzelne Hersteller. Cathleen Pfefferkorn und Jonas Binding arbeiten jeweils in Großkonzernen, die auch SARS-CoV-2-Tests herstellen, jedoch in komplett anderen Geschäftsbereichen (mehr dazu unter rapidtests.de/erweiterte-selbstauskunft).

4. Referenzen

1. Paltiel AD, Zheng A, Walensky RP. Assessment of SARS-CoV-2 Screening Strategies to Permit the Safe Reopening of College Campuses in the United States. *JAMA Network Open*. 2020;3: e2016818–e2016818.
2. Sun K, Wang W, Gao L, Wang Y, Luo K, Ren L, et al. Transmission heterogeneities, kinetics, and controllability of SARS-CoV-2. *Science*. 2021;371: eabe2424.
3. Ferretti L, Wymant C, Kendall M, Zhao L, Nurtay A, Abeler-Dörner L, et al. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*. 2020;368: eabb6936.
4. Buitrago-Garcia D, Egli-Gany D, Counotte MJ, Hossmann S, Imeri H, Ipekci AM, et al. Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: A living systematic review and meta-analysis. *PLoS Med*. 2020;17: e1003346.
5. Larremore DB, Wilder B, Lester E, Shehata S, Burke JM, Hay JA, et al. Test sensitivity is secondary to frequency and turnaround time for COVID-19 screening. *Sci Adv*. 2021;7(1):eabd5393.
6. Lyng GD, Sheils NE, Kennedy CJ, Griffin D, Berke EM. Identifying Optimal COVID-19 Testing Strategies for Schools and Businesses: Balancing Testing Frequency, Individual Test Technology, and Cost. *medRxiv*. 2020; 2020.10.11.20211011.
7. Tupper P, Colijn C. COVID-19's unfortunate events in schools: mitigating classroom clusters in the context of variable transmission. *medRxiv*. 2020; 2020.10.20.20216267.
8. McGee RS, Homburger JR, Williams HE, Bergstrom CT, Zhou AY. Model-driven mitigation measures for reopening schools during the COVID-19 pandemic. *medRxiv*. 2021; 2021.01.22.21250282.
9. Hoehl S, Schenk B, Rudych O, Göttig S, Foppa I, Kohmer N, et al. At-home self-testing of teachers with a SARS-CoV-2 rapid antigen test to reduce potential transmissions in schools. *medRxiv*. 2020; 2020.12.04.20243410.

10. Lindner AK, Nikolai O, Rohardt C, Kausch F, Wintel M, Gertler M, et al. SARS-CoV-2 patient self-testing with an antigen-detecting rapid test: a head-to-head comparison with professional testing. medRxiv. 2021; 2021.01.06.20249009.
11. Lindner AK, Nikolai O, Kausch F, Wintel M, Hommes F, Gertler M, 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. Eur Respir J. 2020; 2003961.
12. Nikolai O, Rohardt C, Tobian F, Junge A, Corman VM, Jones TC, et al. Anterior nasal versus nasal mid-turbinate sampling for a SARS-CoV-2 antigen-detecting rapid test: does localisation or professional collection matter? medRxiv. 2021; 2021.02.09.21251274.
13. Vortrag von Mina M. Reopening cities, states and schools safely via frequent rapid antigen tests. 2021.
14. Alemany A, Baró B, Ouchi D, Rodó P, Ubals M, Corbacho-Monné M, et al. Analytical and clinical performance of the panbio COVID-19 antigen-detecting rapid diagnostic test. J Infect. 2021;S0163-4453(21)00004-9.
15. Pilarowski G, Marquez C, Rubio L, Peng J, Martinez J, Black D, et al. Field performance and public health response using the BinaxNOW TM Rapid SARS-CoV-2 antigen detection assay during community-based testing. Clin Infect Dis. 2020;ciaa1890.
16. Pollock NR, Jacobs JR, Tran K, Cranston A, Smith S, O' Kane C, et al. Performance and Implementation Evaluation of the Abbott BinaxNOW Rapid Antigen Test in a High-throughput Drive-through Community Testing Site in Massachusetts. medRxiv. 2021; 2021.01.09.21249499.
17. Pollock NR, Savage TJ, Wardell H, Lee R, Mathew A, Stengelin M, et al. Correlation of SARS-CoV-2 nucleocapsid antigen and RNA concentrations in nasopharyngeal samples from children and adults using an ultrasensitive and quantitative antigen assay. J Clin Microbiol. 2021;JCM.03077-20.
18. Mina M. Noch nicht veröffentlichte Daten. 2021.
19. Liguoro I, Pilotto C, Bonanni M, Ferrari ME, Pusiol A, Nocerino A, et al. SARS-COV-2 infection in children and newborns: a systematic review. Eur J Pediatr. 2020;179: 1029–1046.
20. Pressekonferenz des Robert-Koch-Institutes vom 10.12.2020.
21. Denkinger C. et al. Noch nicht veröffentlichte Metaanalyse. 2021.
22. Apotheker dürfen keine Corona-Tests an Laien abgeben. In: Deutsche Apotheker Zeitung online [Internet]. Available: <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/news/artikel/2020/09/02/apotheker-duerfen-keine-corona-tests-an-laien-abgeben>
23. Timke J. Der „Off-Label-Use“ von Medizinprodukten – Medizinproduktrechtliche Bewertung und produkthaftungsrechtliche Divergenzen. 2015. MedR 33:643.
24. Ministerium Für Bildung Des Landes Sachsen-Anhalt. Informationen zur Anwendung

des Antigen- Schnelltests. 2020. Available:

https://landesschulamt.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Landesjournal/Bildung_und_Wissenschaft/02_Personalgewinnung/02_01_Lehrkraefte_-_unbefristet/Antigen_Selbsttest.pdf


25. Haage V, Moreira-Soto A, Sacks JA, Corman V, Drosten C, Drexler F. Limited specificity of SARS-CoV-2 antigen-detecting rapid diagnostic tests at low temperatures. medRxiv. 2021; 2021.02.01.21250904.
26. Quilty BJ, Clifford S, Hellewell J, Russell TW, Kucharski AJ, Flasche S, et al. Quarantine and testing strategies in contact tracing for SARS-CoV-2: a modelling study. Lancet Public Health. 2021;S2468-2667(20)30308-X.
27. Persönliche Kommunikation mit Patrick Hennig, neXenio.

RESEARCH ARTICLE

Open Access

Simulating preventative testing of SARS-CoV-2 in schools: policy implications



Ali Asgary^{1*} , Monica Gabriela Cojocaru², Mahdi M. Najafabadi³ and Jianhong Wu⁴

Abstract

Background: School testing for SARS-CoV-2 infection has become an important policy and planning issue as schools were reopened after the summer season and as the COVID-19 pandemic continues. Decisions to test or not to test and, if testing, how many tests, how often and for how long, are complex decisions that need to be taken under uncertainty and conflicting pressures from various stakeholders.

Method: We have developed an agent-based model and simulation tool that can be used to analyze the outcomes and effectiveness of different testing strategies and scenarios in schools with various number of classrooms and class sizes. We have applied a modified version of a standard SEIR disease transmission model that includes symptomatic and asymptomatic infectious populations, and that incorporates feasible public health measures. We also incorporated a pre-symptomatic phase for symptomatic cases. Every day, a random number of students in each class are tested. If they tested positive, they are placed in self-isolation at home when the test results are provided. Last but not least, we have included options to allow for full testing or complete self-isolation of a classroom with a positive case.

Results: We present sample simulation results for parameter values based on schools and disease related information, in the Province of Ontario, Canada. The findings show that testing can be an effective method in controlling the SARS-CoV-2 infection in schools if taken frequently, with expedited test results and self-isolation of infected students at home.

Conclusions: Our findings show that while testing cannot eliminate the risk and has its own challenges, it can significantly control outbreaks when combined with other measures, such as masks and other protective measures.

Keywords: COVID-19, Agent-based Modelling, COVID-19 testing, School testing, Disease modelling

Background

Schools bring together a large number of students with very wide social connections and networks in a closed environment where they share spaces, facilities, and equipment [1]. It is argued and expected that reopening and operations of schools may reinforce the virus spread and thus increase the number of cases both in the schools and in the

community. Without testing and gradual relaxation of social distancing, a second wave could occur during the school year [2]. However, given the importance of learning that takes place inside the schools and the inability of working parents to supervise remote learning at home, there are also concerns regarding school closures and full switch to distant learning. To minimize the impact of the pandemic and to create a safe environment for students while continuing school operations, public health agencies have provided schools with reopening guidelines and procedures that mainly focus on social distancing, hygiene practices, screening and

* Correspondence: asgary@yorku.ca

¹Disaster & Emergency Management, School of Administrative Studies and Advanced Disaster, Emergency and Rapid-response Simulation, York University, Toronto, Canada

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2021 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

monitoring, and reporting in close collaboration with families [3–7].

Testing has been an important element of the COVID-19 pandemic management [8]. Thus, while many schools are currently implementing on-site symptom screening [5], testing may become an additional preventative tool depending on how the pandemic progresses. Testing students prior to and during the school session has become a public health policy and planning issue, as well as a challenge. According to the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), “*a well-implemented testing strategy in school settings might play an important role in preventing virus transmission within the school setting and to the community*” (p.2) [1]. However, because there is no consensus on school testing, because testing is costly and is perceived as painful or uncomfortable, and because it requires significant preparation and planning, it is vital to analyze and assess the outcome and effectiveness of different testing scenarios in controlling disease outbreaks. Simulation modeling can help with exploring and examining the impacts of different testing scenarios. Although testing capacities are currently limited, as technology enhances, it is argued that systematic testing may help in controlling the outbreaks by identifying pre-symptomatic and asymptomatic individuals, while allowing schools to continue their activities. This is also in line with arguments that challenge the current testing strategies which focus on testing symptomatic individuals [8]. This paper describes and presents sample results of an agent-based simulation tool that is developed to help decisionmakers examine different school testing strategies and scenarios. The simulation results are validated with the help of a theoretical viewpoint on the effective reproduction number of the virus in a school environment, which shows that contact tracing, mask wearing and social distancing within classrooms are helping in decreasing the testing frequency and overall test numbers needed to control outbreaks.

School testing challenges

To test students and staff in elementary and secondary schools, some challenges and issues should be addressed: 1) the need for conducting significant number of tests for finding a small number of infected positive cases; 2) testing, especially frequent swab testing, may cause some pain or discomfort for children-although progress has been made towards less painful tests, such tests are not widely available; 3) almost all currently available tests have significant number of false-negative and false-positive rates [9, 10] that can cause confusion and

stress; 4) tests may create a false sense of security among those tested; 5) conducting regular testing in schools is logistically challenging and requires additional resources, planning and operational burdens; 6) large scale testing of students may add more pressures to local public health testing capacities, and in particular, adding school testing may create more issues and increase waiting time for tests and test results; 7) tests are costly and the current PCR tests require specialized machinery and supply-more tests translates into more costs that need to be justified against the benefits that they generate; 8) the time between collecting a sample and receiving the test results is often too long-currently the test results are available after 1 to 6 days depending on the type of test and how many tests are being conducted [9], because the main goal of testing is to identify potential carriers and isolate them and those in close contact with them. As the time between sample collection and test results increases, the effectiveness of tests diminishes (For example, in the Province of Ontario, Canada, test results are returned between 1 to 3 days under normal conditions but this interval can increase to up to a week or even more under busy conditions); 9) public acceptance of mass testing particularly for younger kids in schools is low which may create push back; for example, a study conducted by Statistics Canada found that only 4 in 10 people support mandatory random COVID-19 testing and older adults are more supportive of this idea compared to younger people [11]; 10) privacy issues may arise in school testing-although the tests results can be kept private, subsequent follow up actions such as the temporary exemption from school, may disclose the identity of infected students. A summary of the challenges above is depicted in Table 1.

School testing benefits

According to the ECDC (2020) the objectives of school testing are: “1) to ensure early identification of cases among students and staff in order to conduct contact tracing and initiate prevention and control measures, thereby reducing further transmission; 2) to identify infection in students and staff at high risk of developing severe disease due to underlying conditions; and 3) to support investigations and studies concerning the role of children in the transmission of COVID-19.” (ECDC, 2020, p. 1). As such, school testing provides some benefits including: 1) more information about the disease status in the community and its subsystems- in the absence of clinical solutions such as a vaccine or a drug, testing enables early detection of infected students and prevents outbreaks, and thus

Table 1 Summary of School Testing Challenges

1	Significant number of tests should be performed to find a small number of infected positive cases
2	Tests may cause pain or discomfort, especially for children
3	Available tests have significant false-negative and false-positive rates that can cause confusion and stress
4	Tests may create a false sense of security among those tested
5	Regular testing in schools would be logistically challenging and requires additional resources, planning and operational burdens
6	Large-scale testing of students may add more pressures to local public health testing capacities and may increase overall testing waiting times
7	Tests are costly; more tests translate into more costs that need justification over the benefits they generate
8	The delay before test results are available can reduce testing effectiveness because the main goal of testing is to identify and isolate potential viral vectors and those in close contact with them
9	Public acceptance of mass testing particularly for younger kids in schools is low which may create push back
10	Privacy issues may arise in school testing, as subsequent follow up actions may disclose the identity of infected students

is one of the most powerful tools for managing the pandemic as it allows to identify the infected individuals earlier to reduce additional infections; 2) although testing is uncomfortable and may be painful for some people, it is less painful than hospitalization; 3) testing can reduce pressures on different stakeholders, particularly mental pressures on parents and teachers by providing them with some reassurance that schools are being monitored [12]; 4) asymptomatic cases, that are mainly among the younger ages and able to spread the virus, can only be detected through random testing; 5) testing enables schools to continue their operations with lower risks and uncertainty: without testing, schools may have to go to lock down more frequently, most likely because when too many cases are identified by screening, it will be too late to control the outbreak without closing the school. Moreover, if the pandemic continues, closure of schools may not be a long-term solution; 6) without regular testing, co-infection or overlap between influenza and COVID-19 can create more chaos, particularly during the flu season when it will be difficult for parents or those who screen the children for symptoms, to identify most likely COVID-19 symptoms. A summary of the challenges above is depicted in Table 2.

School testing strategies

Public health agencies are undertaking or considering many different strategies with regard to school testing. These include: 1) Random regular testing in which all or a sample of students and schools are tested regularly: For example, the Province of Saskatchewan, Canada has announced that students with parental consent will have the option to participate in random testing [12]. These tests can be integrated into routine in-school childhood vaccinations. Selection of schools to be tested could be based on the surge in communities where schools are located. 2) One-time testing of all students and teachers returning to schools after summer holidays or school closure: This strategy aims to ensure that students come to school uninfected. For example, the Province of Alberta, Canada, aimed to test all students and teachers before reopening the schools [12]. This would need prioritization of testing for students and teachers before school reopening. The Province of Saskatchewan also encourages teachers and education staff to get tested prior to the school year; 3) Testing students and teachers with symptoms: this is in line with the current practice in which suspected students and teachers are requested to be tested. Most of the current guidelines provided by Public Health agencies to schools advise them to recommend students or

Table 2 Summary of School Testing Benefits

1	Allows to identify the infected individuals earlier to reduce additional infections
2	It is less painful than hospitalization for those who would have been infected in the absence of testing
3	It can reduce pressures on different stakeholders, particularly mental pressures on parents and teachers
4	Asymptomatic cases, that are mainly among the younger ages and able to spread the virus, can only be detected through random testing
5	It enables schools to continue their operations with lower risks and uncertainty, which is important because as the pandemic continues, closure of schools may not be a long-term solution
6	without regular testing, co-infection or overlap between influenza and COVID-19 can create more chaos, particularly during the flu season when it will be difficult for parents or those who screen the children for symptoms, to identify most likely COVID-19 symptoms

Table 3 Summary of Pros and Cons of Different School Testing Strategies

Testing Strategy	Major Pros	Major Cons
Random regular testing in which all or a sample of students and schools are tested regularly	Can be integrated into routine in-school childhood vaccinations	Large samples maybe needed to be effective
One-time testing of all students and teachers returning to schools after summer holidays or school closure	Can help reducing the anxiety of reopening among the students, schools' staff and parents	Lsrge number of tests to be processed at a given time and may not prevent contamination after testing.
Testing students and teachers with symptoms	Small number of tests are required.	Detects symptomatic cases only

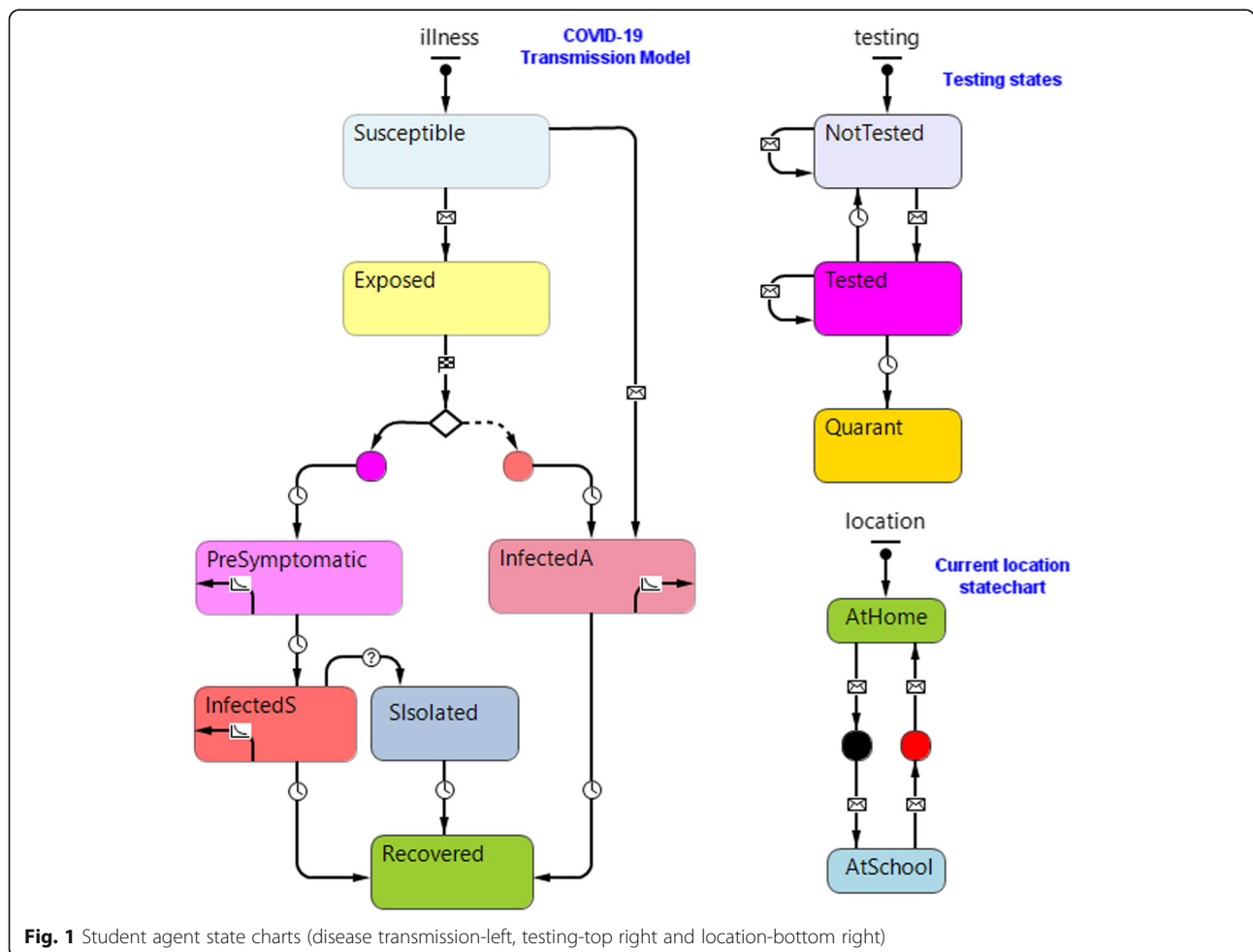
teachers with COVID-19 symptoms to self-quarantine and get tested. According to this strategy, testing does not have to be done in schools, but provisions can be made to give priority to such tests at designated testing sites. Table 3 summarized these different school testing strategies.

In this paper we focus on the first strategy that is based on the regular random testing in all or some of the schools. This strategy could have several options and scenarios depending on the frequency of testing (daily, weekly), number of days it takes to have test

results, test expiry days, and actions taken subsequent to positive test results such as intensified testing or self-isolation of infected classes.

Method

We developed a modeling and simulation tool to assess the outcomes of regular random school testing. We use an agent-based model with two agents of *Student* and *Class*. This model does not include *Teacher* and *Staff*, although the teacher population can be included in the class population adjusting for



appropriate contact rates and transmission levels. A modified SEIR model captures the disease transmission (Fig. 1). Students go to their school in the morning of weekdays and return home after the end of the school hours. This movement is captured by the *location* state chart. If a student tested positive, he or she stays home. As shown in the *illness* state chart, each student is at Susceptible state before it is exposed to a random asymptomatic infected classmate. After the exposure, the student may become infectious with different probabilities, either pre-symptomatic or asymptomatic. Transmission rate is defined as a product of *transmission probability* and *number of contacts* when the student resides at school. The model allows for a portion of infected symptomatic cases to be self-isolated. Both asymptotically and symptomatically infected students recover within a specified number of days. In this model, we have assumed that recovery from the infection would confer life-long immunity (e.g., within the life span of the modeling), and thus, once an agent is recovered from the infection, it cannot get infected with this virus another time.

The *testing* state chart captures the testing states of student agent. Students are all in NotTested state before being randomly tested. As students are tested their state changes to Tested. They will remain in this state and the school until the test

result is provided. If the test result is positive, the student is self-isolated at home (Quarant state), and if not, the student will go back to NotTested state after the test expiry date and the student can be retested. While in Self Isolated state due to symptoms checking (SIsolated) or due to testing (Quarant) states, students stay at home.

The *Class* agent defines the location of students in the school and infectious status of the class. Each class contains its own students throughout the simulation. In other words, students of each class are always together. Once a student in a class becomes infected, it starts infecting others. As testing starts, a subgroup of the class is created to account for tested students.

The transition from Susceptible to InfectedA state is solely for model initialization that allow us to enter one or more infected students at the beginning or at an arbitrary stage of the modeling process. The initial number of infected students can be decided based on the prevalence rate in the community in which the school is operating.

The simulation tool includes a parameter setup page (Fig. 2), a 3D animation window (Fig. 3), a 2D visualization, and a statistics section that presents the simulation results.

Results

The simulation tool allows users to set relevant values for each parameter, and thus examine different

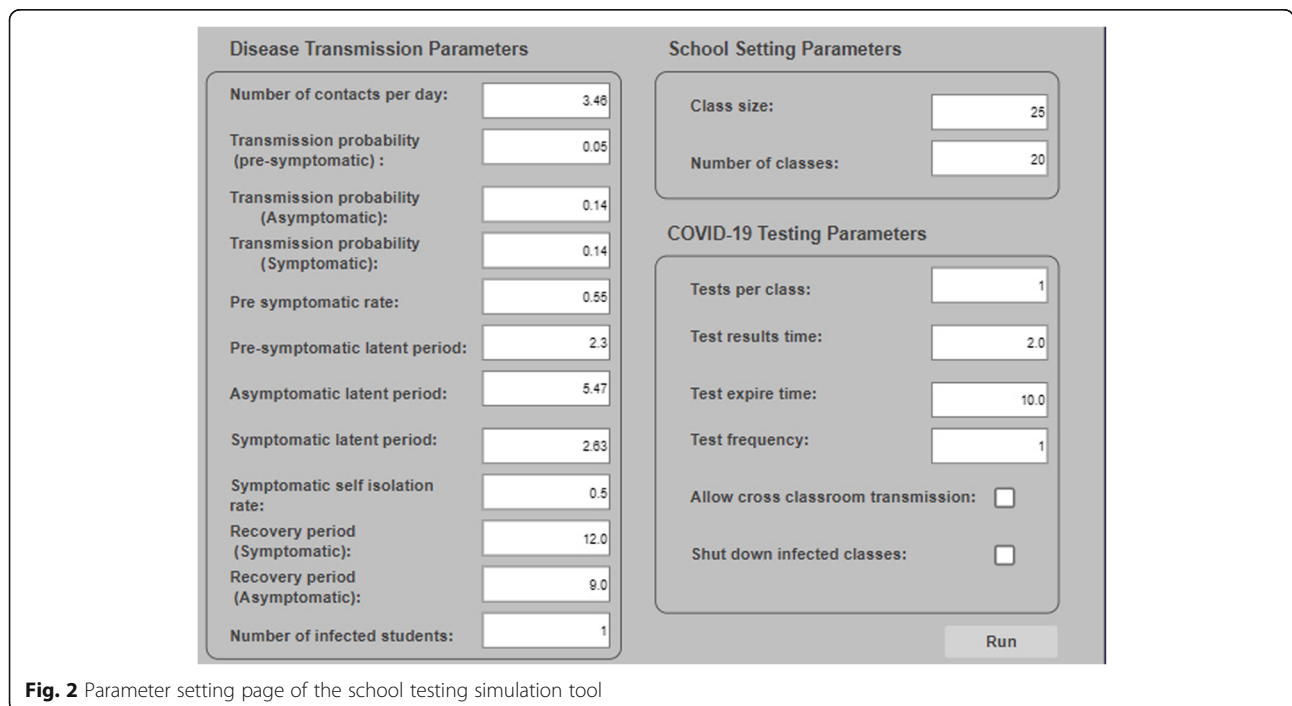


Fig. 2 Parameter setting page of the school testing simulation tool

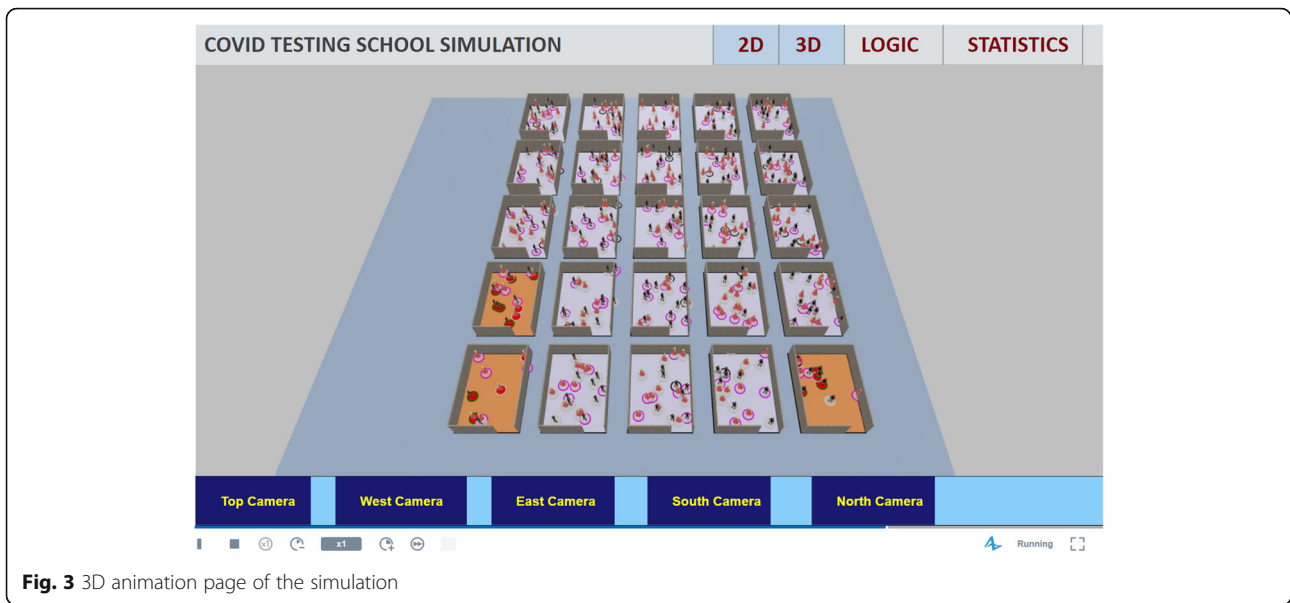


Fig. 3 3D animation page of the simulation

scenarios. We run the model for a baseline parameter setting (Table 4) to demonstrate the simulation results. While parameters can be localized as needed, here we set the parameters based on Ontario information as reported in the existing literature.

We run the base model for a school with 20 classes and 25 students in each class for a total of 500 students. We also assume that the simulation starts with three asymptomatic infected students. Simulation

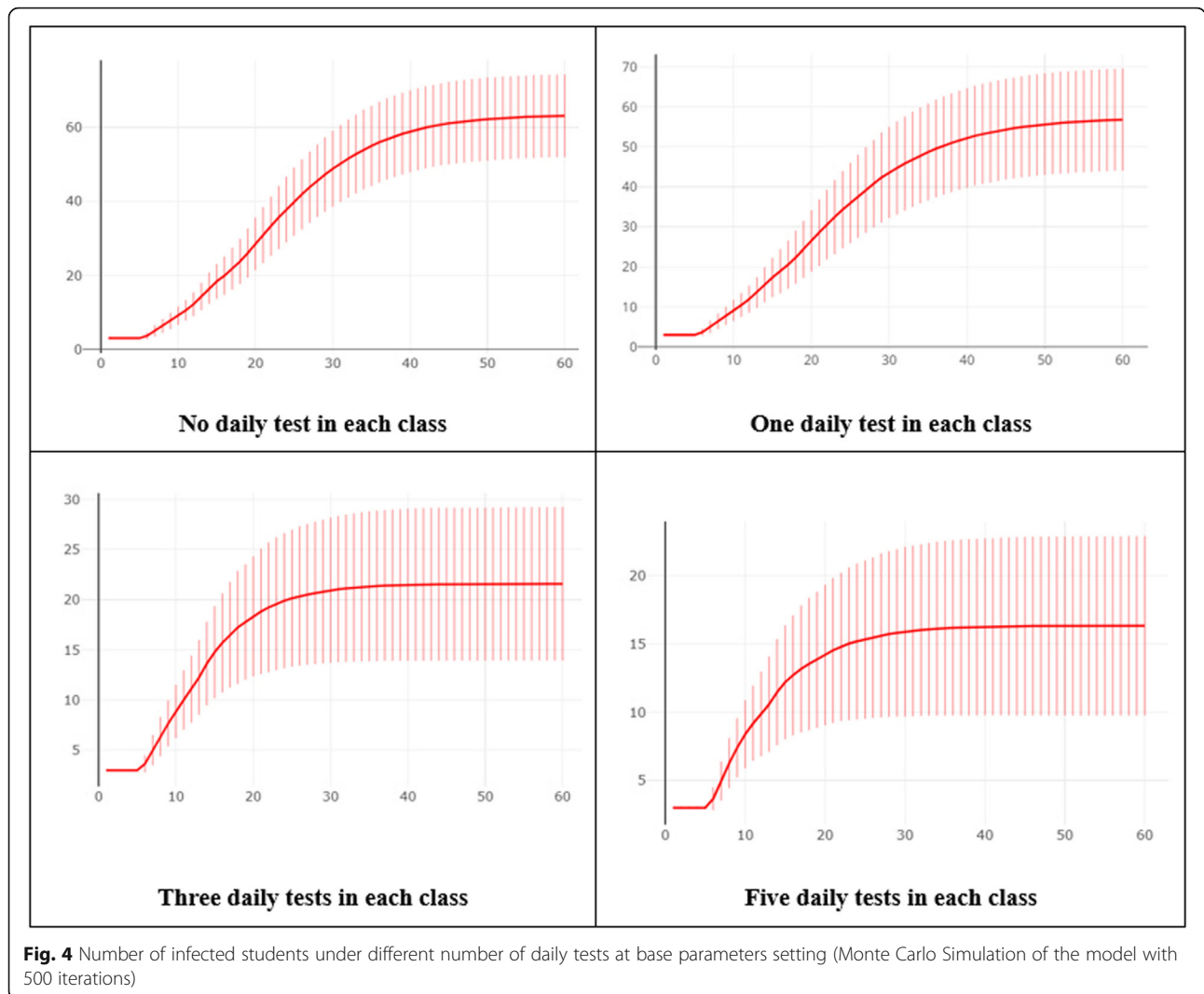
results are presented using Monte Carlo simulations with 500 iterations to capture the stochastic variations and randomness nature of testing. The simulation period is 60 days.

Infections and tests - daily tests

Figure 4 shows the accumulated number of infected students (symptomatic and asymptomatic) under different number of daily tests in each class. As

Table 4 Parameters setting for the base model

Parameter Type	Parameters	Value
Disease related	Number of contacts per school day [13]	3.45
	Transmission probability of pre-symptomatic [14]	0.05
	Transmission probability of symptomatic [15]	0.14
	Transmission probability of asymptomatic [15]	0.14
	Pre-symptomatic rate (portion) [15]	0.45
	Pre-symptomatic latent period (day) [14]	2.3
	Asymptomatic latent period (day) [14]	5.47
	Symptomatic latent period (day) [14]	2.63
	Self-isolation rate [14]	0.5
	Symptomatic recovery period (day) [16]	12.0
	Asymptomatic recovery period (day) [16]	9.0
	Number of initially infected students	3
Class related	Class size	25
	Number of classes	20
Test related	Number of tests in each class	1
	Test results time (day)	2
	Test expiry time (day)	10
	Test frequency (day)	10



expected, these results show that increasing the number of tests reduces the number of additional infections. However, interestingly, the results show that increasing the number of daily tests beyond 5 tests per class (as high as 20% percent of the pupils in the class) under the current parameter setting, would not make a significant difference.

Figure 5 Shows the number of tests, number of infected students, and number of students isolated through testing at day 30 and day 60.

Infections and tests - weekly tests

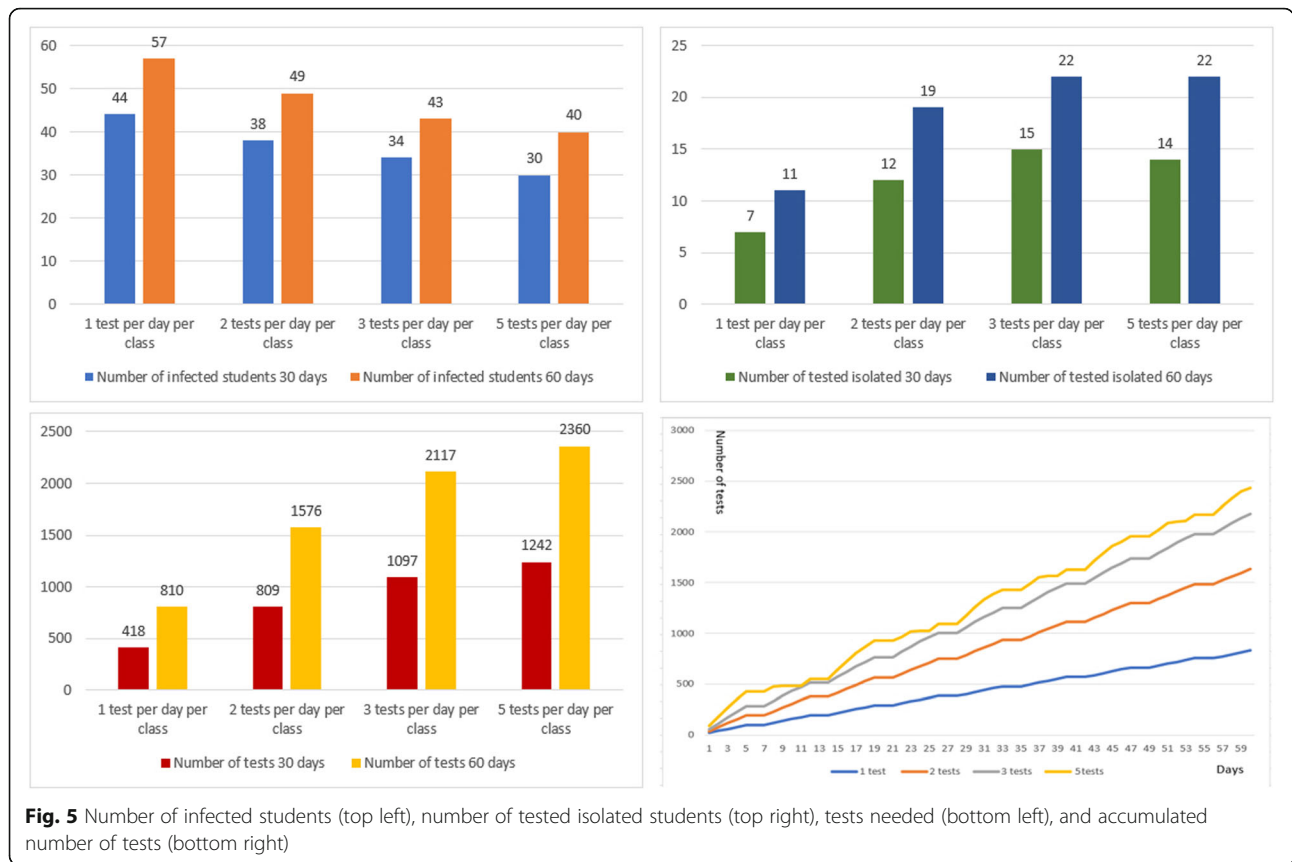
Figure 6 presents the simulation results for the base model considering a weekly test schedule. In this experiment, we compare the accumulated number of infected students based on number of tests per class per week. Although increasing the number of tests in each week can reduce number of cases, it

does not seem to be as effective as daily tests for less than the whole class per week.

Figure 7 shows number of tests, number of infected students, and number of students isolated through testing for weekly testing strategy at day 30 and day 60 of the simulation.

Infections and tests - test results days and test expiry days

Figure 8 shows the simulation results for the base model under different waiting days for test results. We compare same day test results with test results provided after 1, 2 and 3 days. As expected, providing the test results on the same day yields a lower number of cases as it expedites the isolation of confirmed positive cases, before they have time to spread the virus further in the school.



Test results can be valid for different days before a student needs to be tested again. Test expiry period refers to the days by which a tested student would not be included in the testing. We ran the simulation to understand what the impacts would be setting different test expiry days. Figure 9 present the simulation results for the base model with varying days for test expiry. As expected, earlier expiry of the test reduces the number of detected infected cases, as tested students are added to the tested group, the probability of finding the actual infected students is reduced.

Infections and tests – isolating students in infected classes

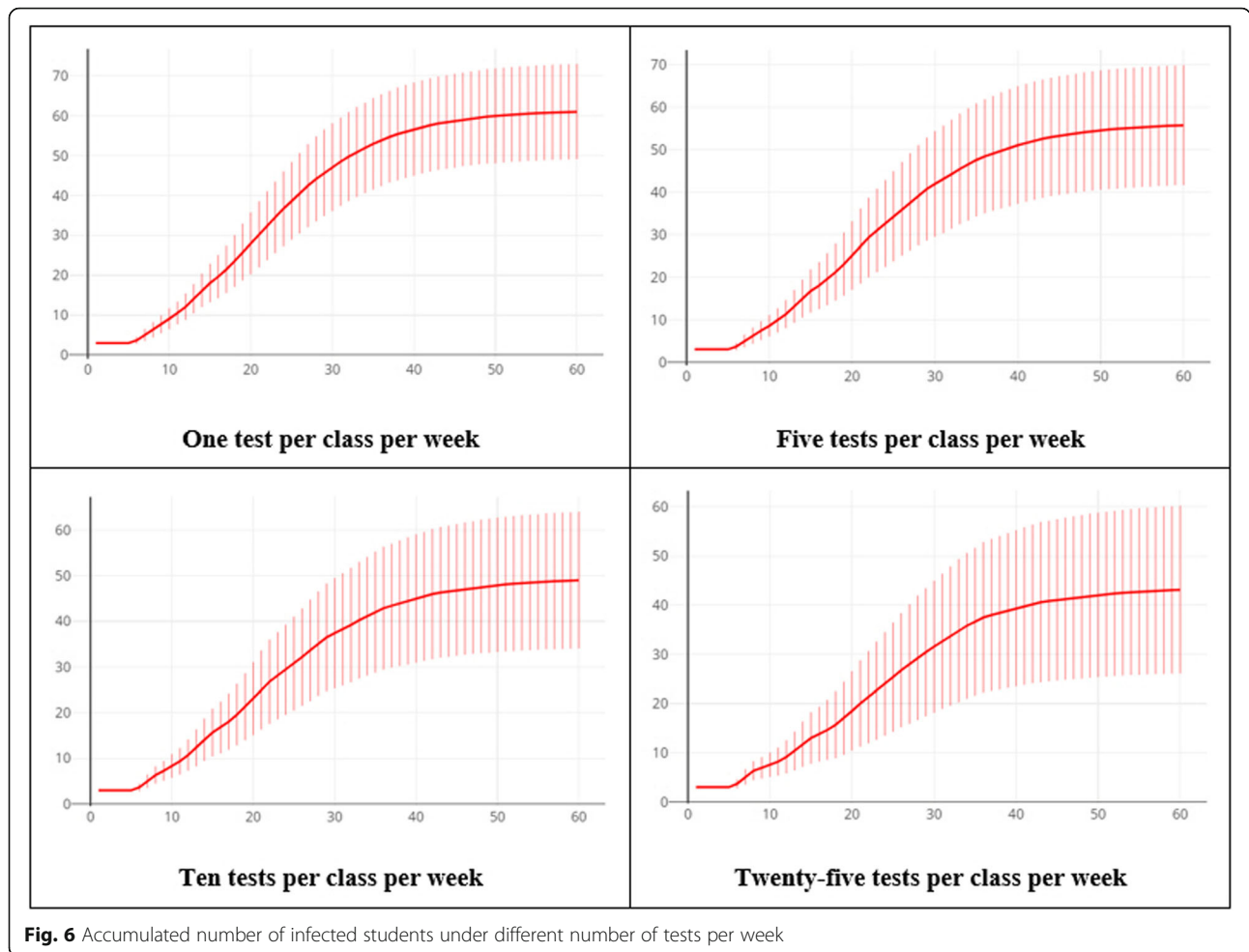
One important infection control strategy for the school would be to ask all students from classes with a positive test result to stay home for 14 days. This strategy assumes that in a close classroom the likelihood of infection among the classmates staying together for the school hours and days before the infected student is identified would be very high. Figure 10 and Fig. 11 present the number of students that will be isolated and the total number of

infected students under this strategy. According to these results while the total number of isolated students will be similar under different number of tests per day, the total number of infected students decreases as more daily tests are conducted.

Infections and tests -testing all students in infected classes

We also present sample simulation results for a special testing strategy that forces all students in infected classes to be tested after a positive test is found in them. This strategy will allow students to remain in the class if tested negative. Figure 12 and Fig. 13 present the results of these experiments for a sample of tests per day in each class. More daily tests under this strategy allows for significant reduction of infected cases by testing and isolating infected students (Fig. 12).

Figure 13 shows number of tests, number of infected students, and number of students isolated through testing for testing all students in infected classes strategy on day 30 and day 60 of the simulation.

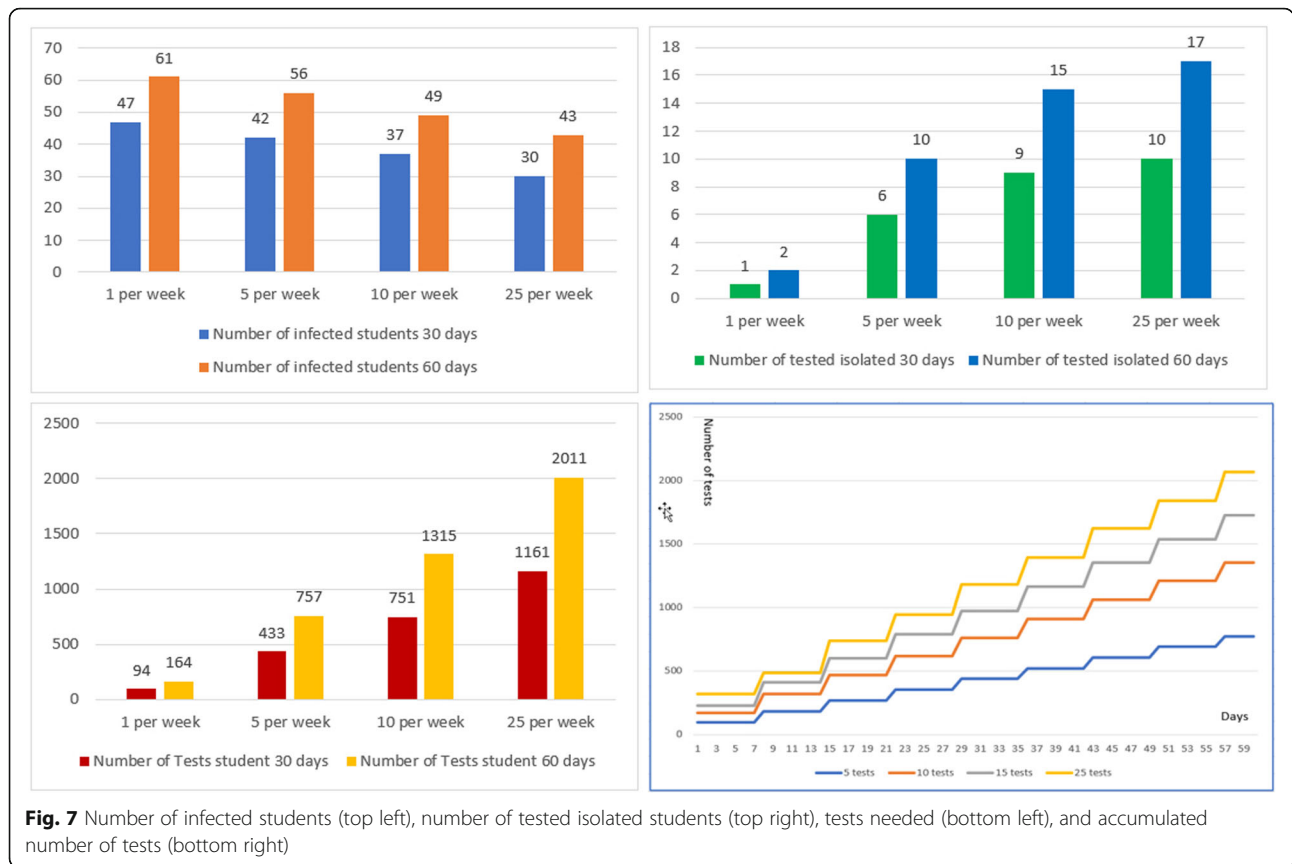


Validating the simulation results

Theoretical validity

In this section we present an estimate on the frequency of testing needed to control outbreaks of COVID-19 in Ontario’s elementary/secondary schools (ages 5-15 yrs). The testing frequency and number of tests refer to a school’s population made up of students & teachers and staff, together. Most importantly, we show that a testing frequency of 3 students per class, per day (as also shown in sections above) is sufficient to keep $R_{eff} \leq 1$ in the school environment, thus preventing outbreaks. In Humphrey et al. [17], a calibrated SEIRL (where L stands for isolated) compartmental model was used to trace the pandemic in various countries. The model gave necessary levels of frequencies for isolating infectious and exposed individuals (via testing and contact tracing) needed to control subsequent waves of the pandemic.

We use here a similar approach but for a school population as follows: We assume a generic elementary/secondary school in Ontario with a population of students (from junior kindergarten to 8-th grade) denoted by N_1 and a population of teachers and staff denoted by N_2 . We further denote by subindex-1 the population of students and by subindex-2 the population of teachers & staff. In Prem et al. [13], the authors project average numbers of contacts for 152 countries around the world from the POLYMOD study of Mossong et al. [18] They refer to social contacts that are meaningful in the transmission of influenza and other similar pathogens. The authors give estimates of the average daily number of contacts of children between ages of 5–15 years old in Canada with their peers, during school, to be $c_{11} = 3.46$, while the average contact rate of students with their teachers (which we estimate as adults between the ages of 20–65 who work in elementary and secondary school in



Ontario) is estimated to be $c_{12} = 0.39$ per day. Using a weighted average mix of 5 yrs. population group sizes in Ontario, we compute the average contact rates of teachers with students to be $c_{21} = 0.34$ and finally the teachers with other teachers rate to be $c_{22} = 0.31$. Since all school contacts take place during school-time (duration 8 h), we obtain the within-school-time contact rate by multiplying the daily number of school contacts by a factor $24 \text{ hrs} / 8 \text{ hrs} = 3$.

To model the transmission in the two subpopulations of the school, during school days, and disregarding for the time being the coupling of students and teachers/staff populations with the community, we consider the following two sets of differential equations ($j \in \{1, 2\}$):

$$\frac{ds_j}{dt} = -(\beta_{j1} i_1 + \beta_{j2} i_2) s_j$$

$$\frac{de_j}{dt} = (\beta_{j1} i_1 + \beta_{j2} i_2) s_j - \sigma e_j - \kappa_1^j e_j$$

$$\frac{di_j}{dt} = \sigma e_j - (\gamma + \kappa_1^j) i_j$$

$$\frac{dl_j}{dt} = \kappa^j i_j + \kappa_1^j e_j$$

where $\beta_{ji} = c_{ji} \text{prob}_{trns}$ for all $i = \{1, 2\}$ so that c_{j1} is the average contact rate of a person in group j with a child, c_{j2} is the average contact rate of a person in group j with a teacher/staff and where prob_{trns} is the probability of transmission per contact, taken to be, as in previous sections, 0.14 in Ontario. Finally, κ^j and κ_1^j are isolation rates due to testing and tracing for the subpopulation j . It is understood that the two systems of differential equations describing the subpopulations are to be analyzed together if one wants to extract information on the effective reproductive number R_{eff} of the school, as a function of the model parameters.

We assume that the school's disease free equilibrium (DFE) on September 15, 2020 is given by the value $DFE = (s_1^* = N_1 / (N_1 + N_2), 0, 0, 0, s_2^* = N_2 / (N_1 + N_2), 0, 0, 0)$. An analysis around this DFE describing the two subpopulations [19] can be conducted using the next-

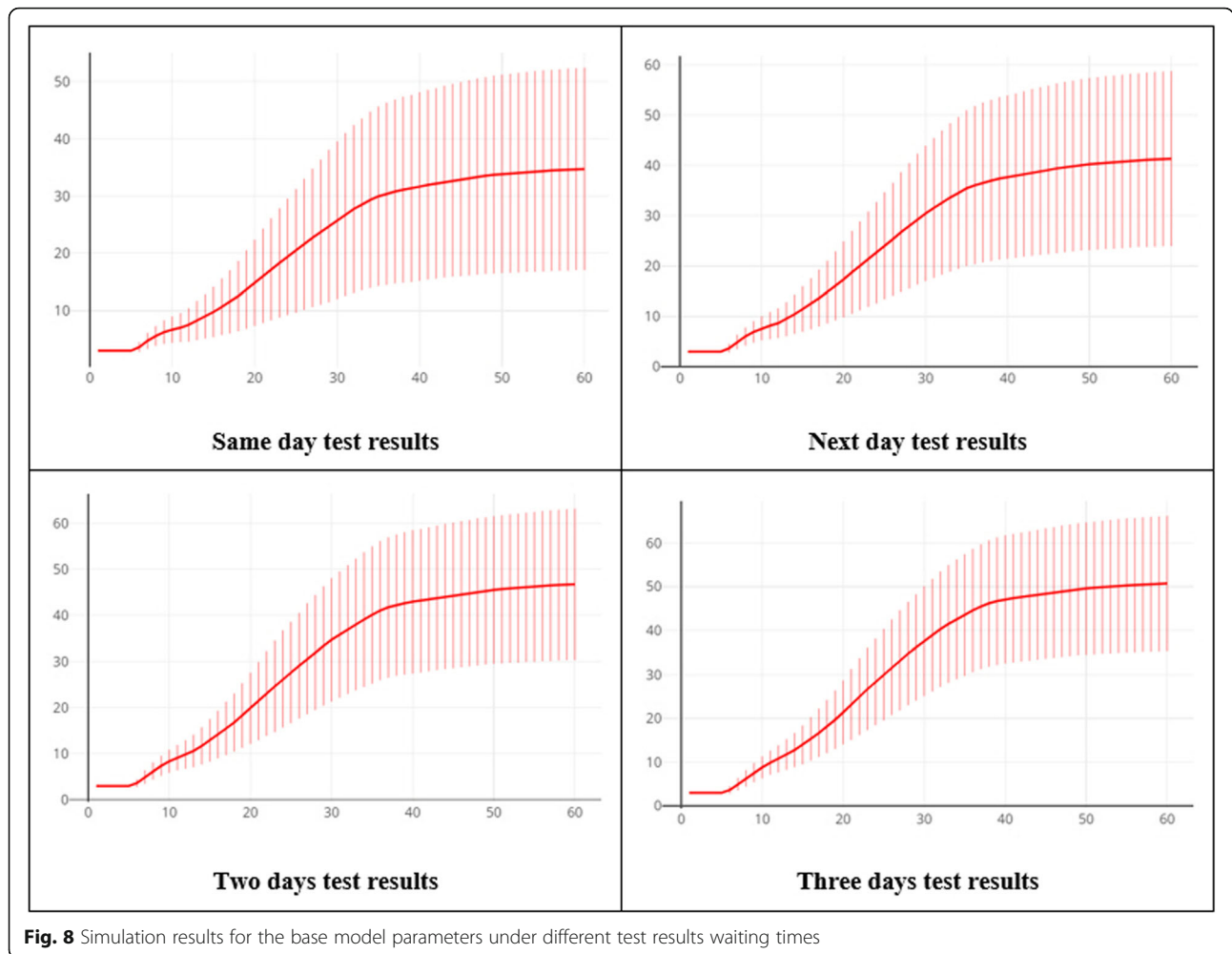


Fig. 8 Simulation results for the base model parameters under different test results waiting times

generation matrix method. With values of contact rates $c_{11} = 10.38$, $c_{12} = 1.17$, $c_{21} = 1.029$, $c_{22} = 0.937$, $\sigma = 1/2.5 = 0.4$; $\gamma = 0.4$, $\bar{s}_2 = 1 - s_1$, and $s_1 = 80\%$ we get that: $R_0 = R_{eff}(t=0) = 3.03$ in the beginning of the pandemic, in the absence of any mitigation measures. Further, we note that R_{eff} depends primarily on the frequency that the population of students gets tested (κ^1 in the left panel of Fig. 14) but only weakly on the frequency of testing the population of teachers (κ^2 in left panel of Fig. 14).

Therefore we concentrate on getting estimates for the frequency of isolation due to testing (κ^1) and tracing (κ^1_1) in the population of students, in order to keep the effective reproduction number at 1 ($R_{eff} = 1$). To be more conservative, we assume that for every isolated student due to testing positive, one exposed student among its contacts can be isolated on average. Therefore, we consider $\kappa^1 = \kappa^1_1$.

Adopting our assumptions of the paper so far, consider a school with 500 students who represent a proportion of 80% of the school, where the teachers and staff population represents 20%. Then we compute that a frequency of testing of $\kappa^1 = 0.999 = > 1/\kappa^1 = 10$ days will result in the desired $R_{eff} = 1$. This means that testing every student every 10 days will ensure an effective reproductive number below the threshold value for school outbreaks. Note that keeping $R_{eff} = 1$ is desired when the community transmission and the number of new infections is very low. Otherwise we need to aim for $R_{eff} < 1$.

The effects of facemask and class cohort

Here we show how the theoretical result validates our detailed simulations. In our school of 500 students divided into average class sizes of 25 students, we can, at a minimum, think of testing one student in each class every day. But this is likely not enough to

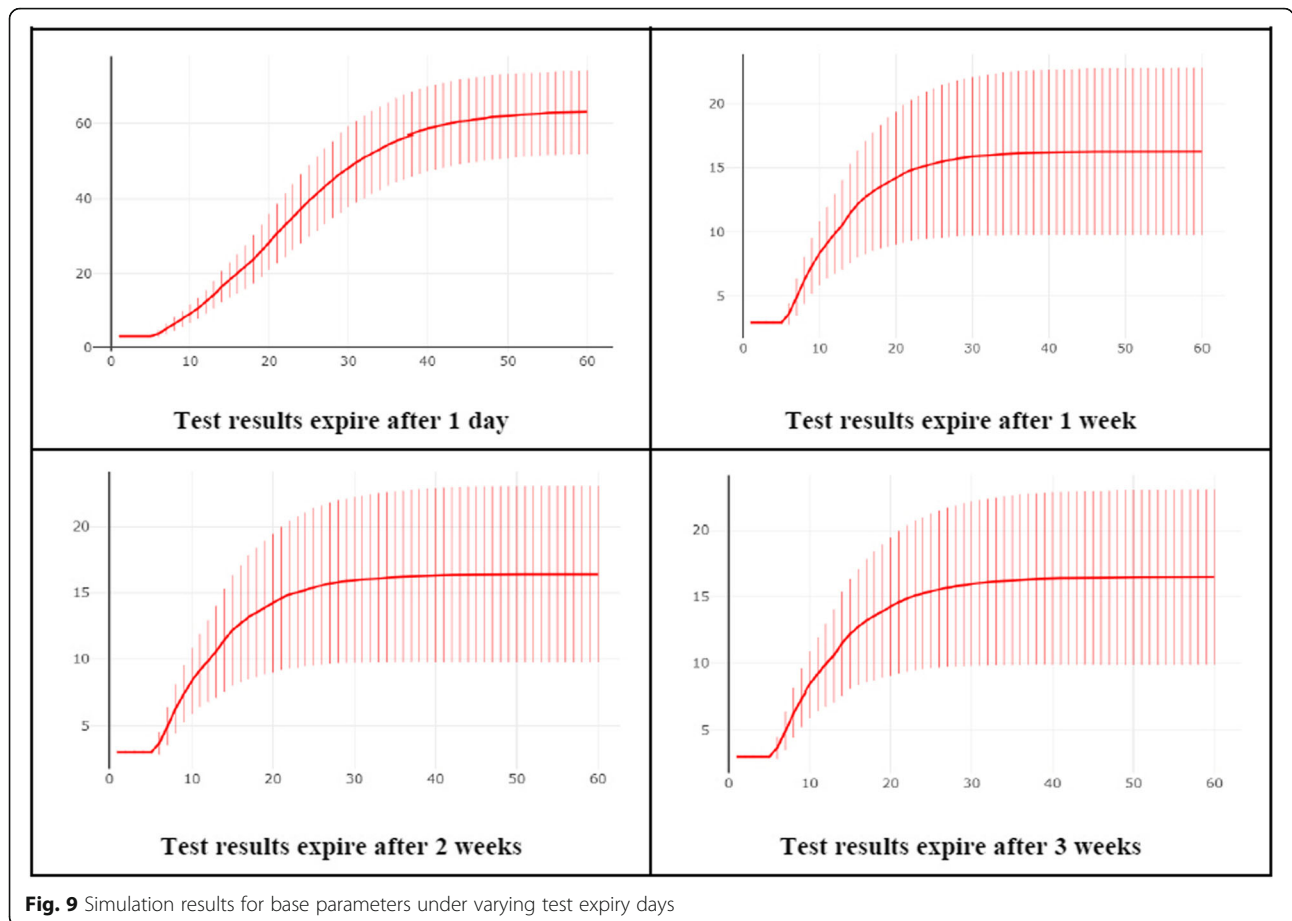


Fig. 9 Simulation results for base parameters under varying test expiry days

prevent outbreaks, as it amounts to testing every student every 25-th day, which is far below our calculated threshold of testing each student on average every 10 days. It turns out that testing 3 students out of every class daily would amount to testing every child every 8.6 days, and leading to $\kappa^1 = 0.1163$ to ensure $R_{eff} < 1$. Specifically, we have $R_{eff} = 0.874$. The number of tests needed per day in the school in the last scenario would be

$$20 \times 3 = 60 \text{ tests per day} \Rightarrow 1800 \text{ tests per month}$$

If we consider that pre-symptomatic students may become symptomatic over the weekend and thus self-isolate come Monday morning, then the student isolation rate κ_1^1 can be improved by at least a 2/7 ratio per week, that is to say, a 2/49 ratio per day: $\kappa_1^1 = \kappa^1 + 2/49$ which would imply that the frequency of testing to maintain $R_{eff} = 1$ would be $\kappa^1 = 12.45 \text{ days}$. This would mean a decrease to a frequency of 2 tests per class, per day, for a total of

$$20 \times 2 = 40 \text{ tests per day} \Rightarrow 1200 \text{ tests per month.}$$

Next, we look at how we can account for mask wearing (and other social-distancing) policies voted into effect by many school boards in Ontario, as well as the policy of class cohorts, i.e. the reduced contacts that individual classes can have with other classes in the school. In general, both of the measures above will affect the effective contact rates, β_{ij} , albeit from two differing angles: mask wearing reduces the per-contact probability of transmission $prob_{trns}$, while class cohorts restrictions reduce the average contacts c_{ij} , $i, j \in \{1, 2\}$. We can incorporate both effects in our estimate by considering the effective contact rates as:

$$\beta_{ij} = (1 - cohort_{red}) c_{ij} (1 - mask_{red}) prob_{trns}$$

where $cohort_{red}$ and $mask_{red}$ are the notations for the reduction factors described above. The mask wearing reduction factor is taken to be in a range of [0.3, 0.8] [20] where 0.3 effectiveness is the level of a paper mask or 1-layer mask, while 0.8 and higher are surgical masks and N95 masks, which are not typically available to everyday

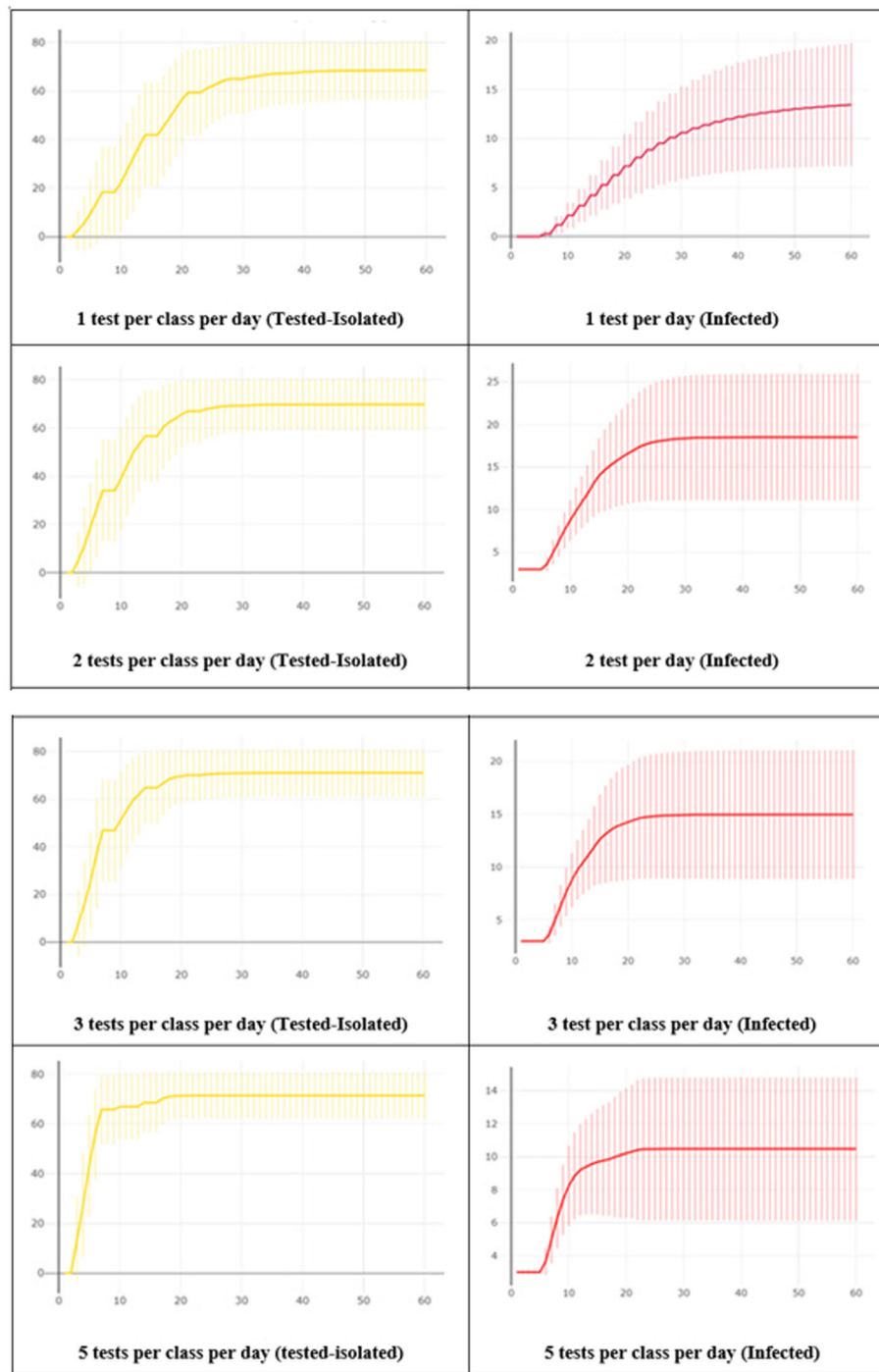


Fig. 10 Number of students isolated (left) and infected (right) under different number of daily tests in each class when all students in infected class are self-isolated at home

students). Specifically, we take it here equal to 0.3. Cohort reduction is taken to be 0.05 for exemplification purposes. Both values are fairly conservative. Under the new assumptions, we compute that the frequency of

isolating students due to testing and tracing is to be 17.7 days ($\kappa^1 = 0.0565$) for an effective reproductive number of $R_{eff} = 1$. This would amount to roughly 1.5 students needed to be tested per class per day (1 student

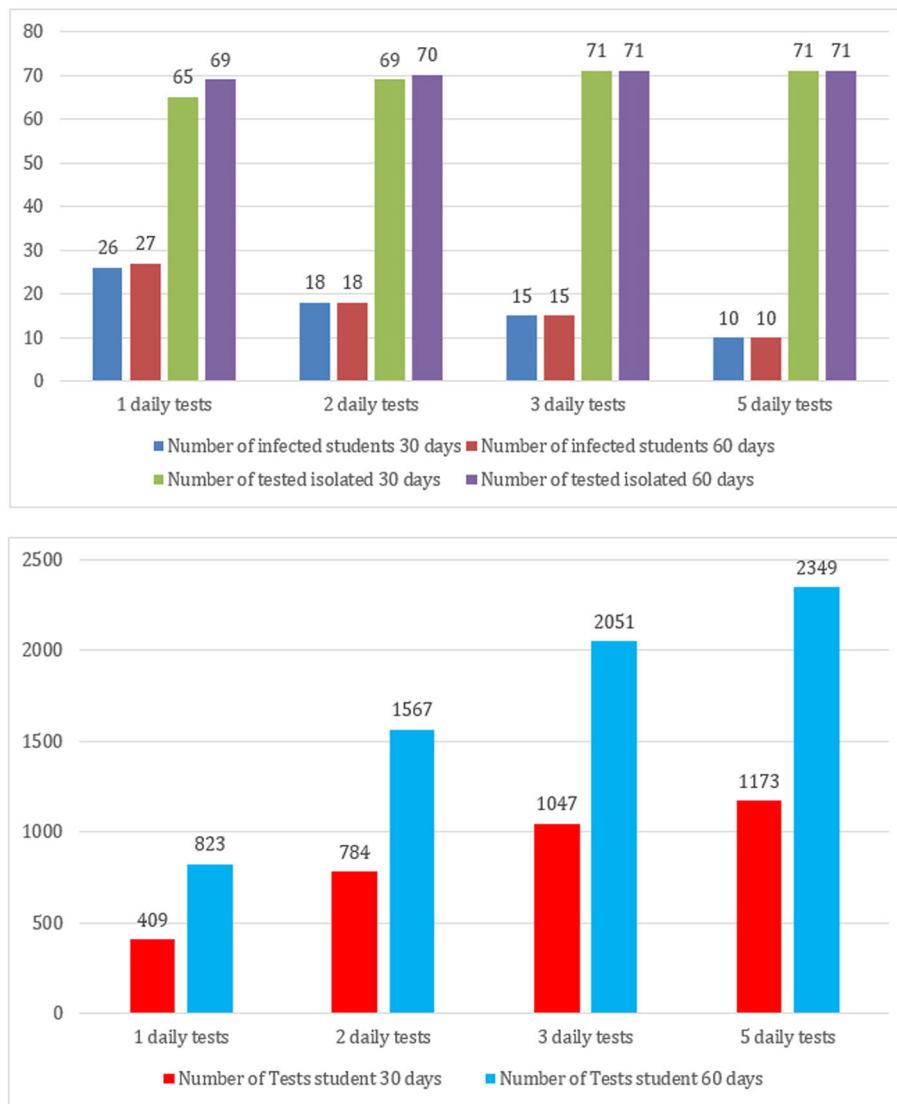


Fig. 11 Total number of tests under different number of daily tests and when all students in infected classes are self-isolated at home

in half the classes, 2 students in the other half per day, then switch the next day). This would mean a decrease to a frequency of 1.5 tests per class, per day, for a total of

$$20 \times 1.5 = 30 \text{ tests per day} \Rightarrow 900 \text{ tests per month.}$$

We note that the range of values for the $cohort_{red}$ reduction factor is not yet known. An increase from 0.05 to 0.1 would amount to a further decrease to testing every student every 19.5 days, etc. An increase in $mask_{red}$ to 0.4 (from 0.3) amounts to testing every student every

26 days, which is the equivalent to testing 1 student in every class, per day, for a total of

$$20 \text{ tests per day} = > 600 \text{ tests a month for an } R_{eff} = 1.$$

All these scenarios are consistent with the results of our simulations in Section 4. In fact, they represent an upper limit on the number of daily tests needed. Our agent-based simulations show a clearer picture of the proposed testing process and take into consideration a much more detailed transmission dynamics.

Discussion

In this simulation we have not included testing accuracy issues that are also very important [10]. Rapid tests that expedite the testing process, if used, may have larger

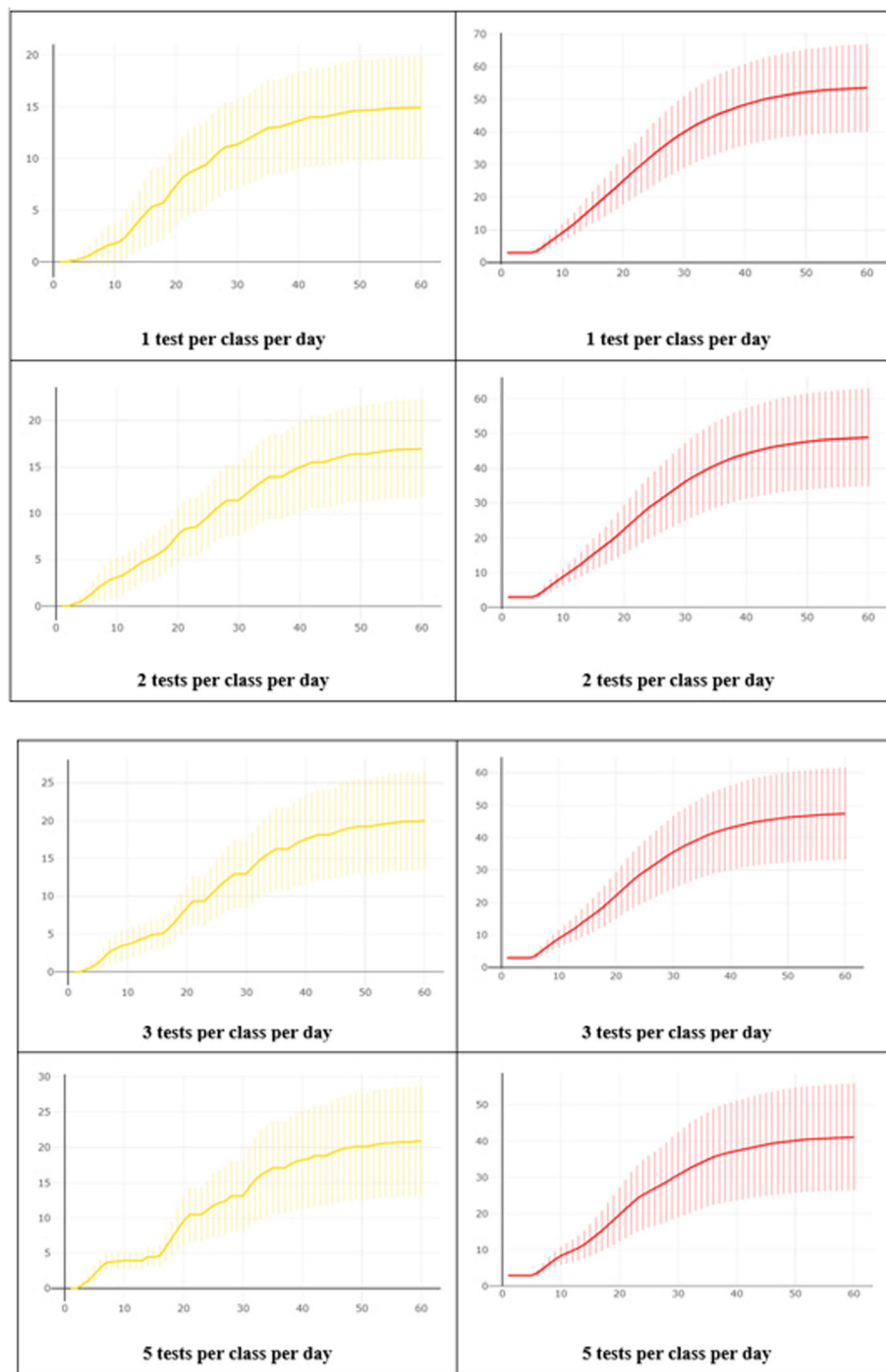


Fig. 12 Number of students isolated (left) and infected (right) under different number of daily tests in each class when all students in infected classes are tested

accuracy issues that need to be considered. The relevant parameter can be added to this simulation tool to account for test accuracy level. Similarly, this simulation in its current form does not factor in contact tracing so that if a student test becomes positive, all students in

contact with the infected student are self-isolated which probably means the closure of the whole class. This again can be added to this simulation tool. One possibility would be to design the simulation so that if a

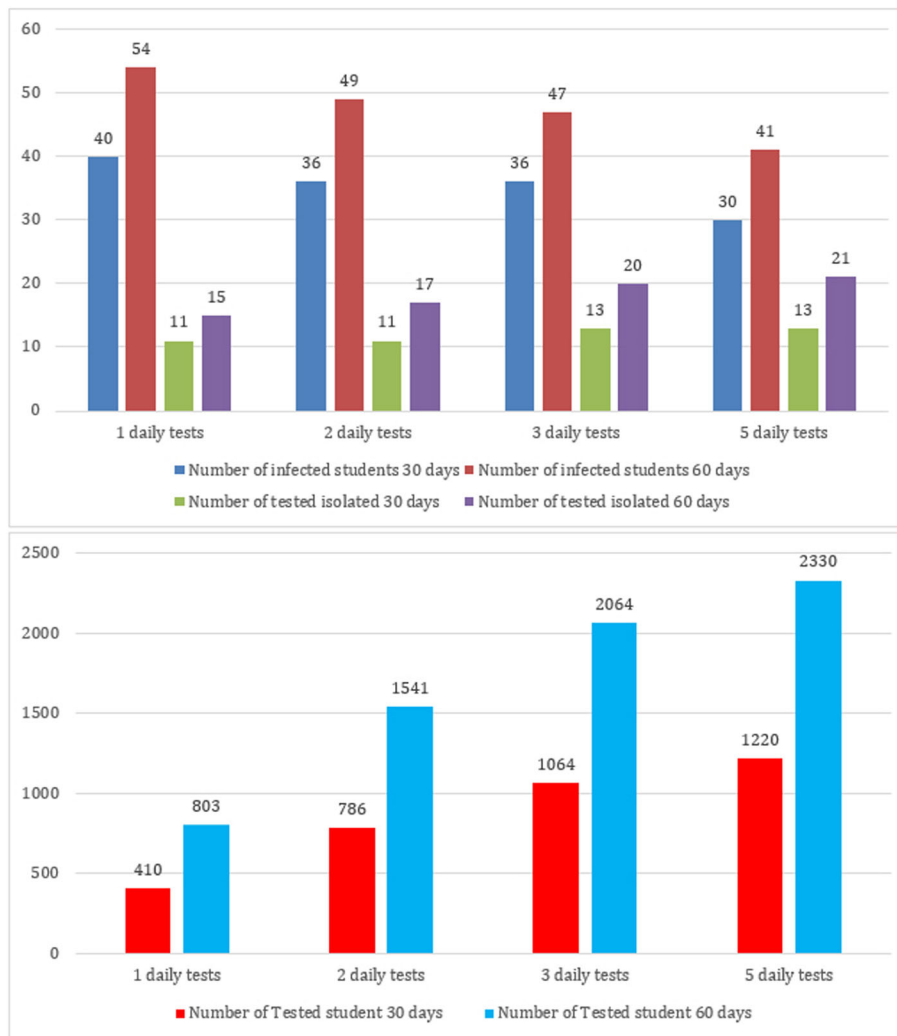


Fig. 13 Total number of tests under different number of daily tests and when all students in infected classed are tested

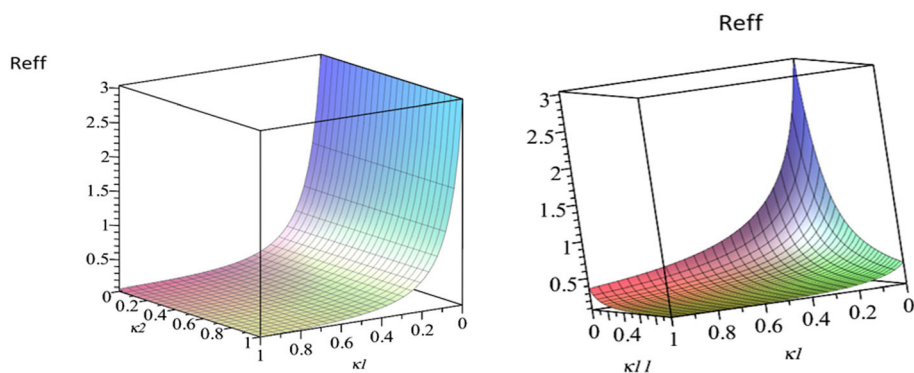


Fig. 14 Left Panel: Testing the teachers & staff population matters less in the evolution of the effective reproductive number in the school. Right Panel: Student population drives the disease spread primarily

student's test in a class becomes positive all students in that class are tested.

If rapid tests are available, the idea of pool testing can also be incorporated in this model. Pool testing adopts this tree-search algorithm to testing specimen aiming to increase the number of people tested using fewer number of tests. In pool testing, several specimens collected from different people are mixed and one test is done to find if that mix of specimens indicates an infection. In that case, the sources of that mix are divided into two groups, mixing the specimens in two or more different groups, to perform the test on the new – drilled-down mixes – to find which subset(s) of the specimen mixes shows an infection. This drill-down process is continued until the infected specimen(s) is (are) identified.

Finally, although this simulation focuses on schools, it can be adapted for similar situations where a number of people stay close to each other in one complex such as universities and workplaces.

Conclusion

In this paper, we presented an agent-based simulation tool for COVID-19 testing at schools. The model allows users to set several parameters and investigate the impacts of different testing approaches for controlling the outbreak in schools. The simulation is flexible in allowing different school sizes (based on number of classes and students in each class) and different parameter settings according to the local disease situation and testing policies.

This simulation is not a means for advocating school testing, rather it aims to help making such decisions. By using this tool, public health decisionmakers and school districts officials can decide whether and to what extent school testing would help them to control the outbreak, while being able to calculate the per capita costs of conducting tests at schools.

Abbreviations

SARS-CoV-2: Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2; COVID-19: Corona Virus Disease 2019; SEIR: Susceptible, Exposed, Infectious, Recovered; ECDC: European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC),

Acknowledgements

None

Authors' contributions

JW, AA and MGC conceived the idea. AA developed the agent-based simulation and MMN made some improvements in the simulation. AA wrote the background, methodology and simulation results. MGC developed the validation model and wrote the validation section. JW, MGC, and MMN reviewed the manuscript and made intellectual input. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

Public Health Agency of Canada; Canadian Institute of Health Research, Ontario; Research Funds, National Science and Engineering Research Council

of Canada. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Availability of data and materials

The data used in this study are generated by the simulation models developed in this study. The simulation tool is available at: <https://cloud.anylogic.com/model/a7c4411e-064e-4283-a93c-b0b27e0430ee>

Ethics approval and consent to participate

Not applicable

Consent for publication

Not applicable

Competing interests

The authors declare no conflict of interest.

Author details

¹Disaster & Emergency Management, School of Administrative Studies and Advanced Disaster, Emergency and Rapid-response Simulation, York University, Toronto, Canada. ²Department of Mathematics & Statistics, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. ³Advanced Disaster, Emergency and Rapid-response Simulation, York University, Toronto, Canada. ⁴Canada Research Chair in Industrial and Applied Mathematics, Laboratory for Industrial and Applied Mathematics (LIAM), York University, Toronto, Ontario, Canada.

Received: 2 October 2020 Accepted: 29 December 2020

Published online: 12 January 2021

References

1. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Objectives for COVID-19 testing in school settings. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC); 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/objectives-covid-19-testing-school-settings> (Accessed 10 Sept 2020).
2. Panovska-Griffiths J, Kerr CC, Stuart RM, et al. Determining the optimal strategy for reopening schools, the impact of test and trace interventions, and the risk of occurrence of a second COVID-19 epidemic wave in the UK: a modelling study. *Lancet Child Adolesc Health*. 2020; published online Aug. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30250-9](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30250-9).
3. World Health Organization. Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19: World Health Organization; 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/considerations-for-school-related-public-health-measures-in-the-context-of-covid-19> (Accessed 10 Sept 2020).
4. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Screening K-12 Students for Symptoms of COVID-19: Limitations and Considerations. United States: Centers for Disease Control and Prevention (CDC); 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/symptom-screening.html> (Accessed 10 Sept 2020).
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Cleaning, Disinfection, and Hand Hygiene in Schools – a Toolkit for School Administrators. United States: Centers for Disease Control and Prevention (CDC); 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/clean-disinfect-hygiene.html> (Accessed 10 Sept 2020).
6. Government of Canada. Risk mitigation tool for child and youth settings operating during the COVID-19 pandemic. Ottawa: Government of Canada; 2020. <https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/2019-novel-coronavirus-infection/guidance-documents/covid-19-risk-mitigation-tool-child-youth-settings-operating-during-pandemic.html> (Accessed 10 Sept 2020).
7. Government of Ontario. Archived - approach to reopening schools for the 2020–2021 school year. Ontario: Government of Ontario; 2020. <https://www.ontario.ca/page/approach-reopening-schools-2020-2021-school-year> (Accessed 10 Sept 2020).
8. Service R. Radical shift in COVID-19 testing needed to reopen schools and businesses, researchers say. *Science*. 2020; published online Aug 3. <https://doi.org/10.1126/science.abe1546>.
9. Lazer D, Santillana M, Perlis RH, et al. The State of the Nation: A 50-State COVID-19 Survey Report #8: Failing the Test. *Open Sci Framework*. 2020. <https://doi.org/10.31219/osf.io/gj9x8>.

10. Gressman PT, Peck JR. Simulating COVID-19 in a university environment. *Math Biosci.* 2020;328:108436. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2020.108436>.
11. Frank K, Arim R. Canadians' willingness to get a COVID-19 vaccine when one becomes available: what role does trust play? 2020 <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/45-28-0001/2020001/article/00043-eng.htm> (Accessed 10 Sept 2020).
12. Kirkey S. Should random COVID-19 tests for kids and teachers be part of our back-to-school plans? *Natl Post.* 2020; published online Aug 20. <https://nationalpost.com/news/should-random-covid-19-tests-for-kids-and-teachers-be-part-of-our-back-to-school-plans> (Accessed 10 Sept 2020).
13. Prem K, Cook AR, Jit M. Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLoS Comput Biol.* 2017;13:e1005697. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005697>.
14. Abdollahi E, Haworth-Brockman M, Keynan Y, Langley JM, Moghadas SM. Simulating the effect of school closure during COVID-19 outbreaks in Ontario, Canada. *BMC Med.* 2020;18:230. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01705-8>.
15. Tang B, Scarabel F, Bragazzi NL, et al. De-escalation by reversing the escalation with a stronger synergistic package of contact tracing, quarantine, isolation and personal protection: feasibility of preventing a COVID-19 rebound in Ontario, Canada, as a case study. *Biology.* 2020;9:100. <https://doi.org/10.3390/biology9050100>.
16. Byrne AW, McEvoy D, Collins A, et al. Inferred duration of infectious period of SARS-CoV-2: rapid scoping review and analysis of available evidence for asymptomatic and symptomatic COVID-19 cases. *Epidemiology.* 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.04.25.20079889>.
17. Humphrey L, Thommes EW, Fields R, Hakim N, Chit A, Cojocar MG. A path out of COVID-19 quarantine: an analysis of policy scenarios. *medRxiv.* 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.04.23.20077503>.
18. Mossong J, Hens N, Jit M, et al. Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. *PLoS Med.* 2008;5:e74. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050074>.
19. van den Driessche P. Reproduction numbers of infectious disease models. *Infect Dis Modelling.* 2017;2(3):288–303.
20. Wilson AM, Abney SE, King M-F, et al. COVID-19 and use of non-traditional masks: how do various materials compare in reducing the risk of infection for mask wearers? *J Hosp Infect.* 2020;105:640–2. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.05.036>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions





The Missing Piece — SARS-CoV-2 Testing and School Reopening

Yasmin Rafiei, B.Sc., and Michelle M. Mello, J.D., Ph.D.

On August 17, 2020, the Los Angeles Unified School District launched a program to test more than 700,000 students and staff for SARS-CoV-2. The district is paying a private contrac-

tor to provide next-day, early-morning results for as many as 40,000 tests daily. As of October 4, a total of 34,833 people had been tested at 42 sites. The program is notable not only because it's ambitious, but also because it's unusual: testing is conspicuously absent from school reopening plans in many other districts. Typically, exhaustive attention has instead focused on physical distancing, face coverings, hygiene, staggering of schedules, and cohorting (dividing students into small, fixed groups). Although the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), the American Academy of Pediatrics, the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, and state officials have urged schools to

prepare for Covid-19 cases, they have offered strikingly little substantive guidance on testing. Immediate attention to improving testing access and response planning is essential to the successful reopening of schools.

Available guidance documents typically instruct schools to gain access to testing by contacting local public health departments, and few schools appear to have solidified a strategy — especially one that extends beyond testing of symptomatic persons. For instance, public schools in Boston and in Miami-Dade County will not conduct screening testing and are placing responsibility on parents for testing symptomatic children. New York State strongly recommends that schools not conduct

testing. However, after its teachers union threatened to strike over safety concerns, New York City added monthly random screening testing for 10 to 20% of staff and students, with more frequent testing in hot spots.

Most reopening plans instead focus on screening for Covid-19 symptoms. Yet recent research indicates that symptom screening alone will not enable schools to contain Covid-19 outbreaks.¹ Because an estimated 40% of Covid-19 cases are asymptomatic and 50% of transmissions occur from asymptomatic persons, we believe that screening testing is critical. Nevertheless, until October 13, the CDC recommended against screening testing in schools, citing constraints on testing capacity and the unavailability of real-world studies of its effectiveness. The newer guidance states that schools “might choose” to offer voluntary testing and that their decisions “should be guided

by what is feasible, practical, and acceptable” and should prioritize symptomatic persons and close contacts of persons diagnosed with Covid-19.

SARS-CoV-2 testing presents at least three challenges for schools. The first is access to testing. Disparities in access persist, particularly for people without severe symptoms or known Covid-19 contacts. Whereas many universities can provide testing using their own labs, K–12 schools are reliant on either public health departments or private contracting. They face formidable financial barriers to providing direct access to testing for students given other pandemic-related strains on their budgets, including state requirements to test employees. Costs of individual tests in the community range from \$50 to \$200,² and federal law does not require employers or insurers to pay for SARS-CoV-2 screening tests administered as part of a return-to-work or return-to-school strategy. Congressional funds for testing the uninsured are also limited to tests for “diagnostic” purposes.

A second major challenge is the lag time in receiving test results. The latest available survey data, from August 2020, indicate that only 26% of tested Americans received their results within a day; 35% waited 4 or more days.³ With limited access to rapid diagnostic tests, screening testing for students and school staff will involve similar wait times. Even outside the high-contact setting of schools, delays in returning results have disturbing consequences: a modeling study showed that same-day results can prevent 80% of new transmissions, whereas a 7-day delay stops only 5%.⁴

Disparities among communi-

ties in testing access and lag times exacerbate preexisting socioeconomic and racial inequities among schools. Schools that cannot quickly obtain test results are disproportionately forced to rely on extended quarantines. Given the distinctive difficulties students from low-income households face in distance learning, these disparities are particularly troubling. They also disproportionately burden children with special health needs, who may be at higher risk of Covid-19 infection and may depend on school-based services.

Moreover, schools must ensure timely reporting of test results, which labs cannot legally disclose without authorization. Schools could counsel parents and secure their legal authorization to have their Covid-19 test results released directly to school officials or could ask parents to disclose those results to the school themselves. Alternatively, schools could build a rapid-feedback loop among testing laboratories, the public health department, and potential contacts, in accordance with public health exceptions to privacy laws. There is no indication that these steps are part of schools’ plans, however.

Third, implementing recommended responses to positive SARS-CoV-2 test results is logistically daunting. Screening testing involves a potentially large number of both true positive and false positive results, and the best practice is to isolate persons with positive results and quarantine in-school contacts until those persons test negative or the incubation period has elapsed. In schools not using cohorting, quarantines may affect a large number of students and staff. For example, a high school in

Cherokee County, Georgia, had to quarantine more than a quarter of its 1800 students and suspend in-person learning after 25 students tested positive. Thus, in addition to arranging quarantines, schools must be able to deliver remote education to confined students on short notice.

Because testing-related challenges pose a serious threat to the viability of school reopening plans, we believe that increasing routine screening using rapid tests in schools should rank among our most urgent national priorities. In September, the federal government purchased 150 million rapid antigen tests for schools, but this effort falls short: one analysis estimated that K–12 schools would deplete this supply in 19 days if most students and staff were tested one to two times per week. Future Covid-19 relief packages should provide appropriations and technical assistance for schools to scale up testing programs, prioritizing districts with the least resources and the highest community risk. Congressional leaders and the White House have reportedly agreed on a “national testing strategy” as part of a proposed economic relief bill, but it is unclear what role, if any, school testing plays in it.

The federal government can also help by continuing to fund development of novel tests, including rapid antigen and saliva-based tests, and by strengthening efforts to ensure swift, broad, and equitable distribution. Investments by the National Institutes of Health and other sponsors have already spurred promising innovations. Several labs have been granted emergency use authorization to test saliva, including one product that has an open-source

protocol and can be implemented using \$4 worth of materials per test.

There is a strong rationale for instituting screening testing in schools, in places where adequate testing capacity exists. The CDC's observation that such testing has not been systematically studied will remain true until a program is implemented, but we would argue that modeling studies provide ample evidence for moving forward now and evaluating results. In communities with a low prevalence of Covid-19, pooled testing — in which individual samples are grouped for analysis and, if positive, retested individually — can increase the feasibility of mass testing.^{3,5}

State and local governments can assist schools by formulating concrete plans for mass testing and prompt return of results. In districts where schools must rely on testing through private physicians and labs, obtaining patients' authorization for disclosure of results, instituting a strong feedback loop, and emphasizing the need for speed in students' testing are paramount, given the risk of onward transmission.

Some observers have suggested that students from high-risk

households (such as those in poorer neighborhoods) be offered more frequent testing than others.³ Targeted screening yields higher positivity rates, is more cost-effective than universal screening, and may help stem outbreaks in vulnerable communities. However, these benefits must be balanced against the potential for stigmatization. Different communities will weigh these considerations differently.

As schools continue to refine their reopening plans, in addition to strengthening testing, they will have to assume an ongoing need for providing remote education due to quarantines. They should also expect fluctuations in the cohort of students receiving such education. Many K–12 schools have staffed distance-learning programs under the assumption of a constant volume, based on surveys eliciting parents' preferences concerning return to school. In reality, student numbers will be in constant flux. Without planning, this variability could compromise educational continuity.

Finally, return-to-school standards should be linked to Covid-19 community transmission rates. As long as schools are unable to conduct testing at scale, the success of reopening will be heavily de-

termined by rates of disease in the community. Without a comprehensive reopening strategy that incorporates testing as a key pillar, school reopening plans will not make the grade.

Disclosure forms provided by the authors are available at [NEJM.org](https://www.nejm.org).

From Stanford University School of Medicine (Y.R., M.M.M.) and Stanford Law School (M.M.M.), Stanford, CA.

This article was published on October 21, 2020, at [NEJM.org](https://www.nejm.org).

1. Paltiel AD, Zheng A, Walensky RP. Assessment of SARS-CoV-2 screening strategies to permit the safe reopening of college campuses in the United States. *JAMA Netw Open* 2020;3(7):e2016818.
2. Wang CJ, Bair H. Operational considerations on the American Academy of pediatrics guidance for K-12 school reentry. *JAMA Pediatr* 2020 August 11 (Epub ahead of print).
3. Tirrell M, Wells N, Miller L. Forty percent of U.S. Covid-19 tests come back too late to be clinically meaningful, data show. *CNBC*. August 15, 2020 (<https://www.cnbc.com/2020/08/15/forty-percent-of-us-covid-19-tests-come-back-too-late-to-be-clinically-meaningful-data-show.html>).
4. Kretzschmar ME, Rozhnova G, Bootsma MCJ, van Boven M, van de Wijgert JHHM, Bonten MJM. Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *Lancet Public Health* 2020; 5(8):e452-e459.
5. Levinson M, Cevik M, Lipsitch M. Reopening primary schools during the pandemic. *N Engl J Med* 2020;383:981-5.

DOI: [10.1056/NEJMp2028209](https://doi.org/10.1056/NEJMp2028209)

Copyright © 2020 Massachusetts Medical Society.

Determining the optimal strategy for reopening schools, the impact of test and trace interventions, and the risk of occurrence of a second COVID-19 epidemic wave in the UK: a modelling study



Jasmina Panovska-Griffiths, Cliff C Kerr, Robyn M Stuart, Dina Mistry, Daniel J Klein, Russell M Viner*, Chris Bonell*

Summary

Background As lockdown measures to slow the spread of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infection begin to ease in the UK, it is important to assess the impact of any changes in policy, including school reopening and broader relaxation of physical distancing measures. We aimed to use an individual-based model to predict the impact of two possible strategies for reopening schools to all students in the UK from September, 2020, in combination with different assumptions about relaxation of physical distancing measures and the scale-up of testing.

Methods In this modelling study, we used Covasim, a stochastic individual-based model for transmission of SARS-CoV-2, calibrated to the UK epidemic. The model describes individuals' contact networks stratified into household, school, workplace, and community layers, and uses demographic and epidemiological data from the UK. We simulated six different scenarios, representing the combination of two school reopening strategies (full time and a part-time rota system with 50% of students attending school on alternate weeks) and three testing scenarios (68% contact tracing with no scale-up in testing, 68% contact tracing with sufficient testing to avoid a second COVID-19 wave, and 40% contact tracing with sufficient testing to avoid a second COVID-19 wave). We estimated the number of new infections, cases, and deaths, as well as the effective reproduction number (R) under different strategies. In a sensitivity analysis to account for uncertainties within the stochastic simulation, we also simulated infectiousness of children and young adults aged younger than 20 years at 50% relative to older ages (20 years and older).

Findings With increased levels of testing (between 59% and 87% of symptomatic people tested at some point during an active SARS-CoV-2 infection, depending on the scenario), and effective contact tracing and isolation, an epidemic rebound might be prevented. Assuming 68% of contacts could be traced, we estimate that 75% of individuals with symptomatic infection would need to be tested and positive cases isolated if schools return full-time in September, or 65% if a part-time rota system were used. If only 40% of contacts could be traced, these figures would increase to 87% and 75%, respectively. However, without these levels of testing and contact tracing, reopening of schools together with gradual relaxing of the lockdown measures are likely to induce a second wave that would peak in December, 2020, if schools open full-time in September, and in February, 2021, if a part-time rota system were adopted. In either case, the second wave would result in R rising above 1 and a resulting second wave of infections 2–0–2–3 times the size of the original COVID-19 wave. When infectiousness of children and young adults was varied from 100% to 50% of that of older ages, we still found that a comprehensive and effective test–trace–isolate strategy would be required to avoid a second COVID-19 wave.

Interpretation To prevent a second COVID-19 wave, relaxation of physical distancing, including reopening of schools, in the UK must be accompanied by large-scale, population-wide testing of symptomatic individuals and effective tracing of their contacts, followed by isolation of diagnosed individuals.

Funding None.

Copyright © 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Introduction

The COVID-19 pandemic, caused by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), continues to spread globally.¹ In the UK, since the first two reported cases on Jan 31, 2020, and the first reported COVID-19-related death on March 7, 2020, the number of reported cases and deaths has increased steadily, with

301455 confirmed cases and more than 45961 deaths reported up to July 29, 2020.

To slow down spread of the virus, the UK Government imposed strict physical distancing (ie, lockdown) measures on March 23, 2020. Informed by mathematical modelling of the potential spread and mortality of this pandemic,² and following the example of the countries affected

Lancet Child Adolesc Health
2020; 4: 817–27

Published Online
August 3, 2020
[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30250-9](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30250-9)
See [Comment](#) page 796

*Joint senior authors

Department of Applied Health Research and Institute for Global Health, University College London, London, UK (J Panovska-Griffiths DPhil); The Queen's College, University of Oxford, Oxford, UK (J Panovska-Griffiths); Institute for Disease Modeling, Bellevue, WA, USA (C C Kerr PhD, D Mistry PhD, D J Klein PhD); Complex Systems Group, School of Physics, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia (C C Kerr); Department of Mathematical Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark (R M Stuart PhD); Burnet Institute, Melbourne, VIC, Australia (R M Stuart); UCL Great Ormond St Institute of Child Health, London, UK (R M Viner PhD); and Faculty of Public Health and Policy, London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, UK (C Bonell PhD)

Correspondence to:

Dr Jasmina Panovska-Griffiths, Department of Applied Health Research, University College London, London WC1E 6BT, UK
j.panovska-griffiths@ucl.ac.uk

For reported cases and deaths see <https://coronavirus.data.gov.uk>

Research in context

Evidence before this study

Since the onset of the COVID-19 pandemic, mathematical modelling has been at the heart of informing decision making, including the implementation of the lockdown in the UK. Although published studies have modelled the epidemic spread across different settings, no studies so far have used modelling to evaluate the impact of reopening schools and society specifically. We searched PubMed for modelling studies that have modelled different schools opening strategies in combination with testing interventions published up to May 10, 2020, using the terms (“SARS-CoV-2” OR “COVID-19”) AND (“modelling” OR “model”) AND (“testing”) AND (“schools”). No language restriction was applied. We did not find any studies that met these criteria. As countries are now starting to ease lockdown measures, it is important to assess the impact of different lockdown exit strategies, including whether and how to reopen schools and relax other physical distancing measures. Reopening of schools represents an early step of reopening society by allowing parents to return to work and hence increased community mixing.

Added value of this study

To our knowledge, our study is the first to provide quantification of the amount of testing and tracing that would be needed to

prevent a second wave of COVID-19 in the UK under different school reopening scenarios (accompanied by a society-wide relaxation of lockdown measures) and in the presence of different test–trace–isolate strategies. Reopening of schools and society alongside active testing of the symptomatic population (between 59% and 87% of people with symptomatic SARS-CoV-2 infection across different scenarios), with effective contact tracing and isolation strategies, will prevent a second epidemic wave and avert a large number of COVID-19 cases and deaths. However, in the absence of a large-scale testing, contact tracing, and isolation strategy, having reopened schools partially in June, 2020, and reopening full time or in part-time rotas from September, 2020, alongside reopening society, is likely to induce a second pandemic wave of COVID-19 in the UK.

Implications of all the available evidence

Evidence so far points to the need for additional testing, contact tracing, and isolation of individuals who have been diagnosed with COVID-19 or who are considered to be at high risk of carrying infection because of their contact history or symptoms. Our study supports these conclusions and provides additional quantification of the amount of testing and tracing that would be needed to prevent a second wave of COVID-19 in the UK under different school reopening strategies.

earlier,³ schools closures have occurred worldwide. On March 19, 2020, the UN Educational, Scientific and Cultural Organisation estimated that 1·6 billion children and young people in more than 180 countries had stopped attending school.³ In the UK, schools for children and adolescents aged 4–18 years remained open only for the children of key workers and children with defined health, education, or social needs, with up to 2% of school children attending during lockdown.⁴

School closure reduces the number of contacts within the population and hence reduces onward transmission; however, it can also cause considerable harms.^{5,6} These harms include hampering health-care and other key workers' ability to go to work;⁷ reduced economic productivity;⁸ and damage to children and young people's education, development, and physical and mental health^{9–11} arising from social isolation,¹² reduced social support, and possible increased exposure to violence at home.¹²

As the rate of increase in the number of COVID-19-related hospital admissions and deaths in the UK has slowed down,¹³ lockdown has been eased gradually, with partial reopening of English primary schools (reception, year one, and year six; ages 4–6 and 10–11) from June 1, 2020, and, secondary schools (years 10 and year 12; ages 14–15 and 17–18) from June 15, 2020. These options were based on assumptions of lower transmission among primary school children and on findings from early population testing suggesting very low SARS-CoV-2

infection or asymptomatic carriage rates, particularly in children younger than 10 years.¹⁴

Under current plans, all primary and secondary school students will return to school in England in September, 2020, but the exact return-to-school policy is undecided. Return in other UK countries is also likely to be in late August or September, 2020. Decisions will be based on an understanding of the likely effect of different policies, but there is still uncertainty about the importance of children and young people in SARS-CoV-2 transmission and the impact of school closures in COVID-19 control.^{9–11} Although previous modelling studies have suggested that school closures reduce transmission when implemented alongside other physical distancing interventions,² the studies generally assume that transmissibility among children and young people is equivalent to that among adults. Data on susceptibility to and transmission of SARS-CoV-2 among children and adolescents are sparse.⁸ A population-based contact tracing study on transmission in schools in Australia identified two likely secondary cases from 18 index cases and 863 contacts.⁹ Yet others have suggested that the attack rate (ie, probability that an infected individual will transmit the disease to a susceptible individual) is similar to that in adults,¹⁰ and much of the data on transmission in schools are from periods when schools have been fully or partially closed. A meta-analysis suggested that susceptibility to SARS-CoV-2 among children and adolescents was around half of that among adults,¹¹ but

symptoms are much less common in children than in adults and the degree of asymptomatic transmission by children is unknown.

Reopening of schools represents the first step of reopening society by allowing parents to return to work and hence increased community mixing. We aimed to use modelling to explore the impact of two possible strategies to reopen all schools from September, 2020, combined with society-wide relaxing of the physical distancing measures in the UK, in combination with three different test–trace–isolate scenarios. The strategies that we have explored have been discussed with members of scientific advisory bodies in the UK.

Methods

Transmission model

We modelled the spread of COVID-19 using Covasim (version 1.4.7), a stochastic agent-based model of SARS-CoV-2 transmission. The model was developed by the Institute for Disease Modeling (Bellevue, WA, USA); further details of the mathematical approach used for Covasim have been published previously as a preprint.¹⁵ Briefly, within the model, individuals are modelled as either susceptible to the virus, exposed to it, infected, recovered, or dead. In addition, infected and infectious individuals are categorised as either asymptomatic or in different symptomatic groups: pre-symptomatic (before viral shedding has begun), or with mild, severe, or critical symptoms (figure 1). For this study, the model was adapted to the UK context.

Covasim's default parameters determine the ways in which people progress through the states depicted in figure 1, including the probabilities associated with onward transmission and disease progression, duration of disease by acuity, and the effects of interventions; these parameters were collated during Covasim's development during May, 2020,¹⁵ and are updated when new evidence becomes available. In addition, Covasim is pre-populated with demographic data on population age structures and household sizes by country, and uses these data to generate population contact networks for the setting. By default, Covasim generates four different contact networks: schools, workplaces, households, and community settings. The per-contact transmission probability (β) that an infectious individual transmits the virus to a susceptible individual is assumed to depend on the contact network. Covasim accounts for testing strategies via parameters that determine the probabilities with which people with different symptoms receive a test each day (appendix p 4).

Data sources and calibration

Publicly available data were collated and used for the analysis. We used Covasim's default settings to generate a population of 100 000 agents who interact over the four networks described previously. This approach is similar to that in the study by Ferguson and colleagues,² which

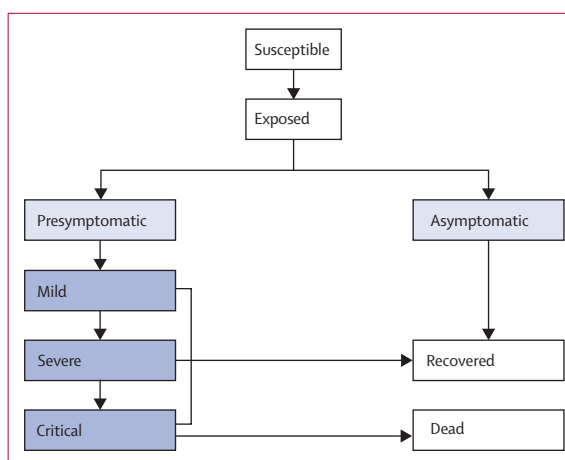


Figure 1: Modelled disease states

Blue shading indicates that an individual is infectious and can transmit the disease to other susceptible individuals. States in a darker shade of blue are considered to be symptomatic for the purpose of testing eligibility. This schematic is reproduced from existing work from members of this group.¹⁵

For more on Covasim see <http://docs.covasim.org>

informed the implementation of lockdown measures in the UK. To fit the model to the UK epidemic, we did an automated search for the optimal values of the number of infected people on Jan 21, 2020, the per-contact layer-dependent transmission probabilities, and the daily testing probabilities for symptomatic individuals (p_s) during May and June that minimised the sum of squared differences between the model's estimates of confirmed cases and deaths, and data on these same two indicators between Jan 21 and June 17, 2020, collated from the UK Government's COVID-19 dashboard. These particular parameters were selected as the most important to estimate because the considerable uncertainties around them—in particular, about whether the per-contact transmission probability is age dependent¹⁶ or differs across asymptomatic and symptomatic cases—translate to uncertainties around the true number of infections in the population and the proportion of those that have been detected. We accounted for the effect of the lockdown by reducing the per-contact transmission probabilities from March 23, 2020, to 2% of their pre-lockdown values within schools, and to 20% of their pre-lockdown values within workplace and community settings.

The calibrated model estimated that between Jan 21 and June 17, 2021, the daily probability of testing people with symptoms was 1.98% corresponding to about 18% of people with symptomatic infection being tested at some point during their illness (assuming an average symptomatic period of about 10 days). In addition, the model assumed that the daily probability of testing people without symptoms was 0.075% corresponding to about 0.75% of people with asymptomatic infection being tested at some point during their illness (assuming an average symptomatic period of about 10 days). In addition, we determined that 1500 people were infected in the UK on

For the UK Government's COVID-19 dashboard see <https://coronavirus.data.gov.uk>

See Online for appendix

	Home contacts	School contacts	Work contacts	Community contacts
Full time				
June 1, 2020	100%	23%*	40%	40%
June 15, 2020	100%	38%†	50%	50%
Sept 1, 2020	100%	90%‡	70%	90%
Part-time rota				
June 1, 2020	100%	23%*	40%	40%
June 15, 2020	100%	38%†	50%	50%
Sept 1, 2020	100%	50%§	70%	70%
Jan 1, 2021	100%	90%‡	70%	90%

Each intervention is simulated by altering the daily transmission probability due to home, school, workplace, and community contact, with details presented in the appendix (pp 5–7). We assume that transmission within schools is proportional to school years going back, which allows parents to go back to work. We thus assume that return to workplaces is proportional to reopening of schools. Furthermore, we assume that 30% of the workforce will remain working from home for the foreseeable future. SARS-CoV-2=severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Representing three of 13 school years returning to school. †Representing five of 13 school years returning to school. ‡Representing all 13 years returning to school full time, with 10% subtracted to account for protective measures assumed to be in place. §All 13 years returning school, but on part-time rota, with half of school years present at one time.

Table: Scale factors applied to daily SARS-CoV-2 transmission probabilities in households, schools, workplaces, and the community under the scenarios of full-time and part-time rota reopening of schools

Jan 21, 2020 (appendix p 1), and that the per-contact transmission probability was 0.59% (appendix p 5).

School and society reopening scenarios

The UK Government reopened schools in a phased manner from June 1, 2020, with students in reception (aged 4–5 years), year one (aged 5–6 years), and year six (aged 10–11 years) in English primary schools returning to school on June 1, 2020, followed by secondary school students in years 10 (aged 14–15 years) and 12 (aged 17–18 years) from June 15, 2020. However, although 91% of schools reopened, only 7% of children attended.¹⁷ Under current plans, all school students will return in September, 2020, either full time or part time depending on the state of the epidemic. Therefore, a second plausible scenario is that returning to school in September could include a rota system with students attending school on alternate weeks, with half of the students attending school one week and the other half the following week. We explore these two scenarios of schools returning from September together with phased reopening from June 1 (table).

The phased reopening of schools was implemented by setting the per-contact transmission probabilities within schools to be proportional to the number of school years returning to school, and to 90% of its pre-lockdown value for the full-time reopening scenario (to account for protective measures assumed to be in place; table). In both scenarios, we accounted for holiday periods by assuming no transmission in schools and higher transmission in households (by 29%, based on Google movement data over the lockdown period) over holiday periods.

We also assumed that reopening of schools would correspond to increases in workplace and community transmission probabilities, to account for increased social mixing with reopening of schools and relaxation of the physical distancing restrictions that have applied to work, leisure, and community activities. We assumed that if schools were to reopen full time or in a part-time rota system, the transmission probability in community settings would be respectively 90% or 70% of its pre-lockdown value when schools are in session and 70% during school holiday periods, and workplace transmission would be 70% of its pre-lockdown value during school terms (under the assumption that 30% remain working from home for foreseeable future; personal communication with policy decision makers) and 50% during school holidays. In addition, we assumed that if schools reopen in a part-time rota, this system would be in place for one school term (autumn term, 2020) only and then schools will go back full time from Jan 1, 2021 (table).

Test-trace-isolate strategies

In line with current policy in the UK, we also modelled the implementation of test-trace-isolate strategies to test individuals in the population presenting with COVID-19-like symptoms, isolate those testing positive, and trace their contacts. Since March 23, 2020, the strategy in the UK has been to test people presenting with severe COVID-19 symptoms and ask them to self-isolate, and starting on June 1, 2020, this approach has been complemented by a strategy to trace contacts of those people who test positive for infection. The tracing strategy was simulated in Covasim by introducing two coverage levels of tracing beginning on June 1, 2020. First, to resemble the current scenario of tracing contacts, we assumed that 75%¹⁸ of individuals testing positive are contacted and that 90%¹⁹ of their contacts are traced and asked to isolate, which results in a contact tracing level of 68%. Second, we also simulated a more pessimistic scenario for tracing capability, which could arise if there were problems in scaling up the test-trace-isolate strategy, of a contact tracing level of 40%.

We used the model to derive the testing levels necessary to avoid the second pandemic wave with these two tracing strategies. We assumed 100% sensitivity and specificity of the testing, a delay of 1 day to receive the test result, and that individuals testing positive would immediately be isolated for 14 days. In the model, this isolation reduced their infectiousness by 90%. In addition, with both strategies, symptomatic people were isolated, with their infectiousness reduced by 50%.

Analysis

Overall, we simulated six core scenarios, comprising two different school reopening strategies (students return full time in September vs students return

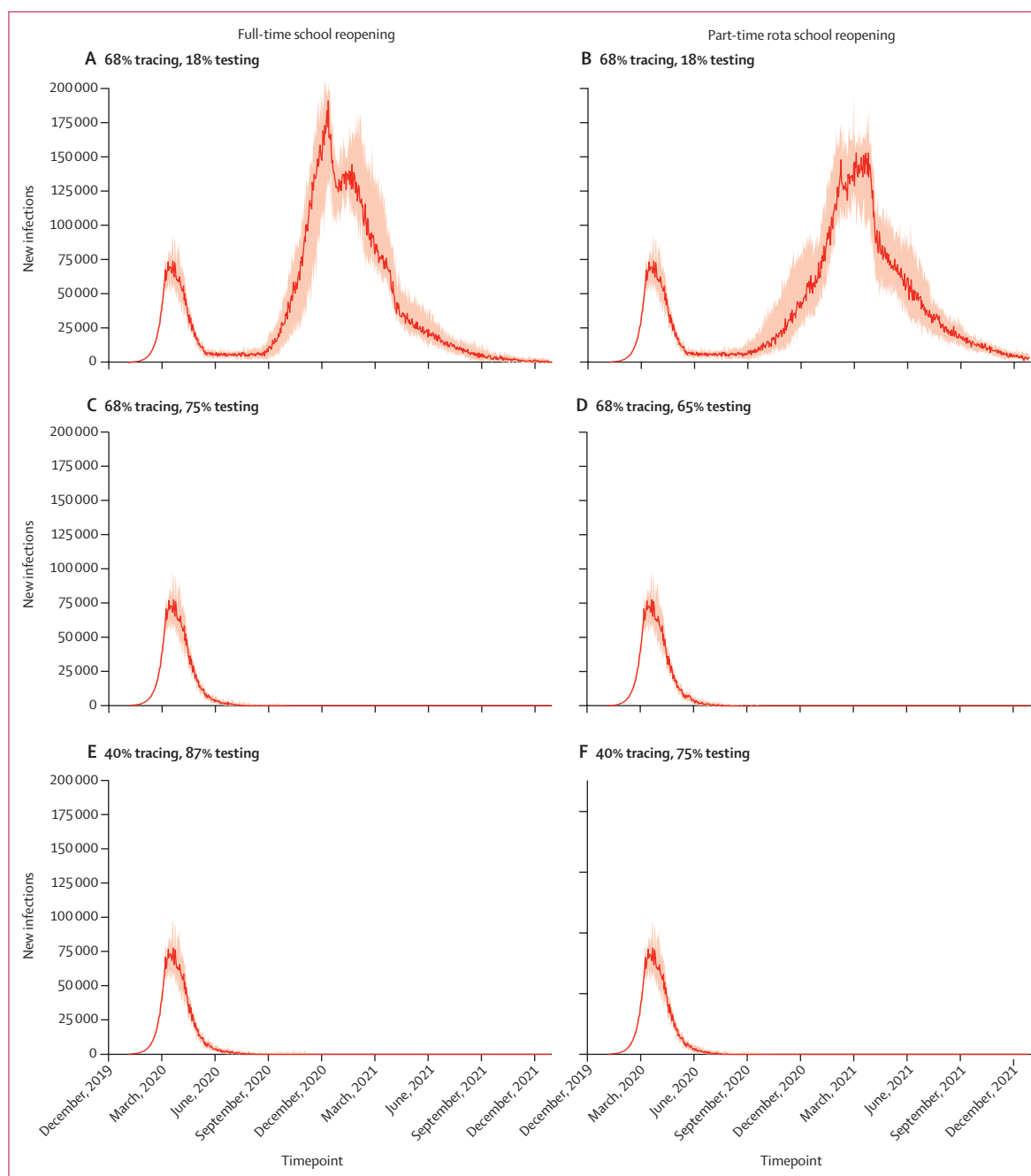


Figure 2: Model estimates of daily new SARS-CoV-2 infections from Jan 21, 2020, to Dec 31, 2021

(A) New infections with 68% tracing and 18% testing in the full-time school reopening scenario. (B) New infections with 68% tracing and 18% testing in the part-time rota school reopening scenario. (C) New infections with 68% tracing and 75% testing in the full-time school reopening scenario. (D) New infections with 68% tracing and 65% testing in the part-time rota school reopening scenario. (E) New infections with 40% tracing and 87% testing in the full-time school reopening scenario. (F) New infections with 40% tracing and 75% testing in the part-time rota school reopening scenario. Medians across ten simulations are indicated by solid lines and 10% and 90% quantiles by shading. The results do not change if we run a larger number of simulations, and we tested 1, 3, 6, 8, 10, and 20 simulations. The difference is that the noise in the simulations increases with increased size of simulations; therefore, we chose ten simulations for these figures. SARS-CoV-2=severe acute respiratory syndrome coronavirus 2.

part-time in a rota system in September) and three test-trace-isolate strategies. In the first strategy, 68% of contacts are traced with no scale-up in testing (ie, 18% of people with symptomatic infection and about 0.75%

of those with asymptomatic infection are tested). In the second strategy, 68% of contacts are traced and testing is scaled up sufficiently to avoid a second COVID-19 wave. In the third strategy, 40% of contacts are traced

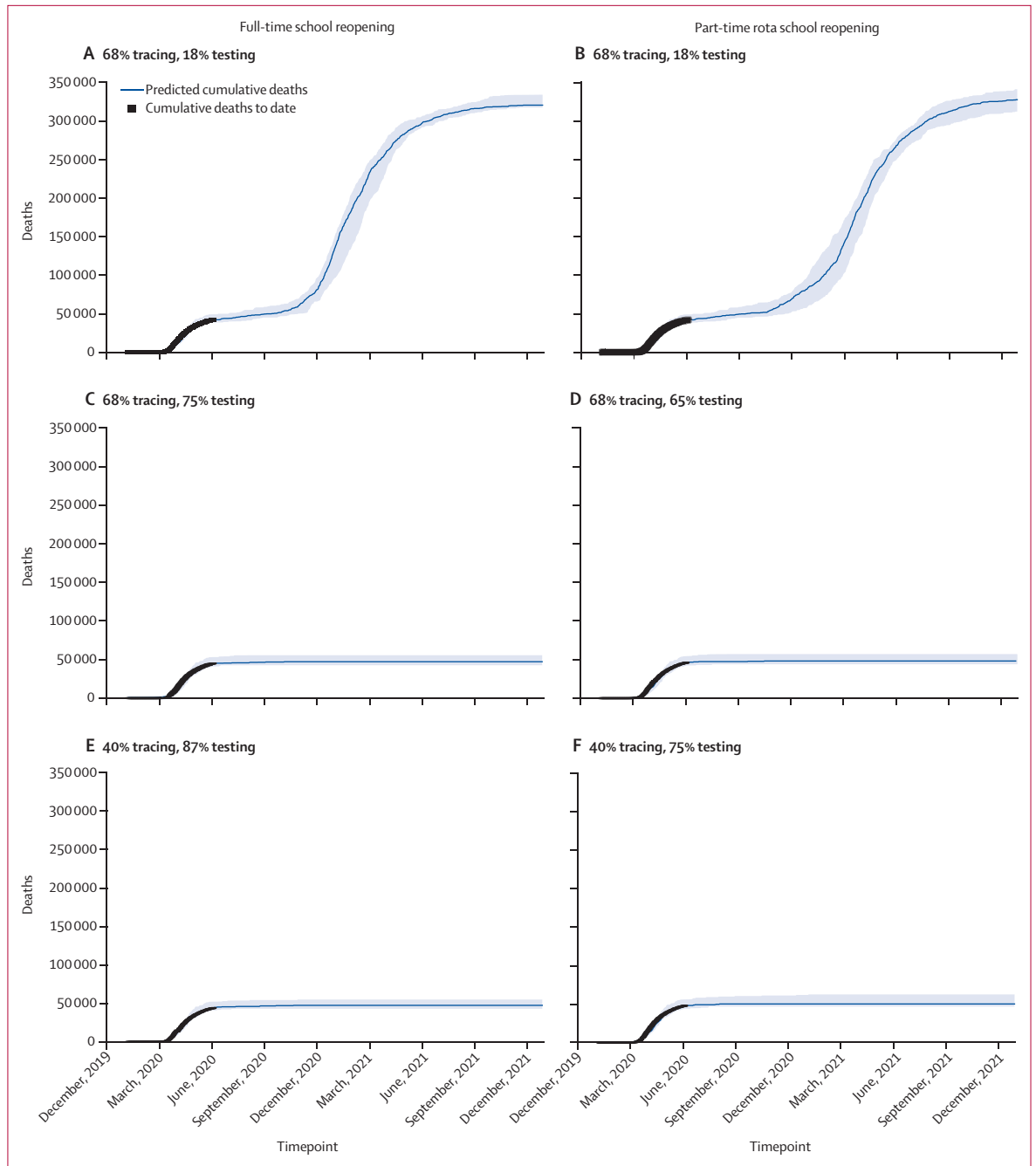


Figure 3: Model estimates of cumulative COVID-19 deaths from Jan 21, 2020, to Dec 31, 2021
 (A) Deaths with 68% tracing and 18% testing in the full-time school reopening scenario. (B) Deaths with 68% tracing and 18% testing in the part-time rota school reopening scenario. (C) Deaths with 68% tracing and 75% testing in the full-time school reopening scenario. (D) Deaths with 68% tracing and 65% testing in the part-time rota school reopening scenario. (E) Deaths with 40% tracing and 87% testing in the full-time school reopening scenario. (F) Deaths with 40% tracing and 75% testing in the part-time rota school reopening scenario. Medians across ten simulations are indicated by solid lines and the 10% and 90% quantiles by shading.

and symptomatic testing is scaled up sufficiently to avoid a second COVID-19 wave.

For each scenario, we estimated the daily and cumulative numbers of infections and deaths, as well as time series of the effective reproduction number R , until

Dec 31, 2021. Since Covasim is stochastic, we simulated each scenario under ten different random number seeds, and we present the median estimates along with ranges corresponding to the upper (90%) and lower (10%) bounds generated by these ten seeds.

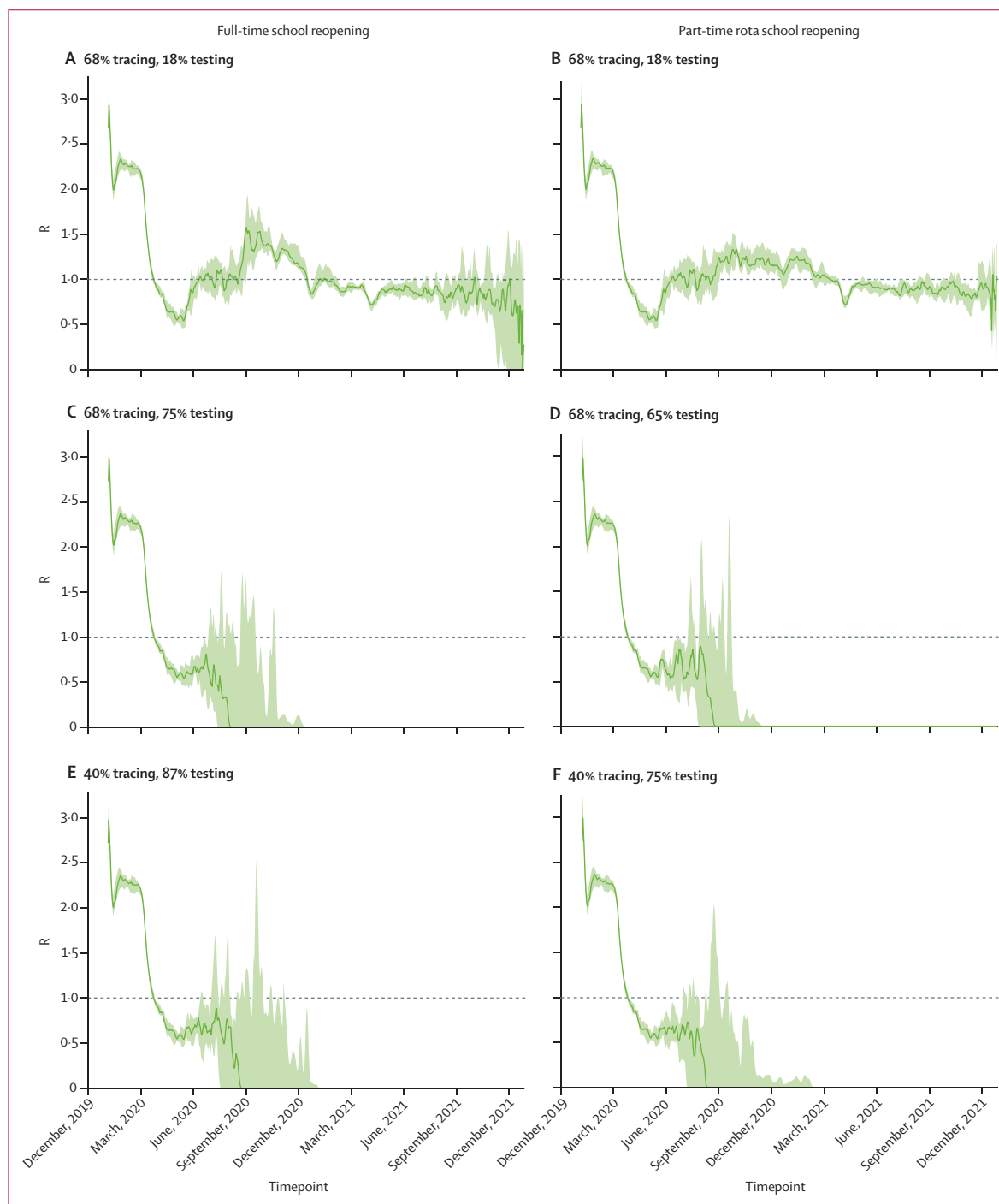


Figure 4: Model estimates of effective reproduction number R from Jan 21, 2020, to Dec 31, 2021

(A) Reproductive number R with 68% tracing and 18% testing in the full-time school reopening scenario. (B) Reproductive number R with 68% tracing and 18% testing in the part-time rota school reopening scenario. (C) Reproductive number R with 68% tracing and 75% testing in the full-time school reopening scenario. (D) Reproductive number R with 68% tracing and 65% testing in the part-time rota school reopening scenario. (E) Reproductive number R with 40% tracing and 87% testing in the full-time school reopening scenario. (F) Reproductive number R with 40% tracing and 75% testing in the part-time rota school reopening scenario. Medians across ten simulations are indicated by solid lines and the 10% and 90% quantiles by shading. An R value of less than 1 is necessary for virus suppression.

In view of the uncertainties in the role of different age groups in transmission,⁸ we simulated the same scenarios in a sensitivity analysis, in which

transmissibility for people aged younger than 20 years was assumed to be half that of people older than 20 years.²⁰ As part of this analysis, the model was

recalibrated and equivalent analysis to the main one undertaken (appendix pp 5, 7–9).

Role of the funding source

The funders of the study had no role in study design, data collection, data analysis, data interpretation, or writing of the report. The corresponding author had full access to all the data in the study and had final responsibility for the decision to submit for publication.

Results

Our model predicts that reopening schools either full time or in a part-time rota system from Sept 1, 2020, alongside relaxation of other social distancing measures will induce a second COVID-19 wave in the absence of a scaled-up testing programme (figures 2A, B, 3A, B, 4A, B). This second wave would peak in December, 2020, if schools open full time in September, and in February, 2021, if a part-time rota system were adopted. In either case, the second wave would be 2.0–2.3 times larger than the first COVID-19 wave in the UK.

Our findings suggest that it might be possible to avoid a second pandemic wave across both school reopening scenarios if enough people with symptomatic infection can be tested, and contacts of those diagnosed can be traced and effectively isolated (figures 2C–F, 3C–F, 4C–F). Assuming 68% of contacts could be traced, we estimate that 75% of those with symptomatic infection would need to be tested and isolated if schools return full time in September, or 65% if a part-time rota system were used. If only 40% of contacts could be traced, these figures would increase to 87% and 75%, respectively.

The temporal profiles of the effective reproduction number R follow the trend of the time series of new infections (comparing respective panels in figures 2 and 4). R evidently increases over the threshold of 1, suggesting an increase in the number of new infections, when a second COVID-19 wave occurs (figures 2A, B, 4A, B). Across both scenarios of school and society reopening and different tracing levels, the test–trace–isolate strategy would need to test a sufficiently large proportion of the population with COVID-19 symptomatic infection and trace their contacts with sufficiently large coverage, for R to diminish below 1 (figures 2C–F, 3C–F). Specifically, our simulations suggest that the timepoint at which R diminishes depends on the degree to which the test–trace–isolate strategy had been implemented and the combination of testing and tracing; the exact association between timing of R diminishment at different levels of testing, tracing, and isolating from June, 2020, will be explored in subsequent analyses.

When we reran the six core scenarios with infectiousness among children and young adults aged younger than 20 years assumed to be 50% of that among older ages (20 years and older), our results remained largely unchanged (appendix pp 8–9). We still found that it is possible to avoid a second COVID-19 wave across all

scenarios of school and society reopening and different tracing levels, if the test–trace–isolate strategy tests a sufficiently large proportion of the population with COVID-19 symptomatic infection and traces their contacts with sufficiently large coverage. Assuming that 68% of contacts could be traced, we estimate that 61% of those with symptomatic infection would need to be diagnosed and isolated if schools return full time in September (compared with 75% if children transmit equally to adults), or 59% if a part-time rota system were used (appendix p 8). If only 40% of contacts could be traced, these figures would increase to 78% and 70%, respectively. These results are summarised in the appendix (pp 8–9).

Discussion

Our modelling results suggest that if schools and society reopened full time or in a part-time rota system on Sept 1, 2020, with sufficiently broad coverage of a test–trace–isolate programme, a second COVID-19 wave could be prevented in the UK. Such measures would markedly reduce cumulative numbers of new infections and deaths, and contribute to keeping R below 1. This finding is consistent under both assumptions of infectivity of children and young adults aged younger than 20 years relative to adults (50% and 100%; appendix pp 8–9). We note that depending on the overall population prevalence of COVID-19-like illness, achieving this level of coverage with a test–trace–isolate strategy would probably require testing a large number of people.

However, we also predict that in the absence of sufficiently broad test–trace–isolate coverage, reopening of schools combined with accompanied reopening of society across all scenarios might induce a second COVID-19 wave. For example, our modelling results suggest that full school reopening in September, 2020, without an effective test–trace–isolate strategy would result in R rising above 1 and a resulting second wave of infections that would peak in December, 2020, and be 2.3 times the size of the original COVID-19 wave. Cases would then decline and peak again, with a wave 2.0 times larger than the original wave.

In our modelling, we have assumed that reopening schools is not a binary off–on switch, but instead that reopening schools would be accompanied by broader changes. School reopening would allow parents to go back to work, as reopening a proportion of businesses are anticipated to be an important step in restarting economic activity. Specifically, we simulated increasing not only the transmission in schools, but also increased transmission in workplaces and the community. The exact numbers representing these changes in this analysis are based on modelling assumptions, and the model can be rerun if more reliable numbers are available in future.

Evidence from countries such as South Korea,^{21,22} where large-scale testing and contact tracing have been able to control the spread of COVID-19, points to the need for

additional testing, effective contact tracing, and isolation of individuals who have been diagnosed with COVID-19, or who are considered to be at high risk of carrying infection as a result of their contact history or symptoms, to control the virus spread. Our study supports these conclusions and provides additional quantification of the amount of testing and tracing that would be needed to prevent a second wave of COVID-19 in the UK under different strategies to reopen schools and society from September, 2020.

To our knowledge, this is the first study to give such quantitative modelled measures for the UK. There are differences in policies relating to school reopening across the four UK countries but these findings are likely to be generalisable to each country. We anticipate that re-running the analysis separately for England, Scotland, Wales, and Northern Ireland would highlight the need for a comprehensive test–trace–isolate strategy to avoid second COVID-19 peak, but possibly the minimum testing levels will differ across the four UK countries. Although such analyses were beyond the scope of this paper, we are planning to explore this further in future work.

Our analyses have some limitations. First, although we have made an effort to characterise the pandemic to resemble that of the UK, some of the parameters used are from various sources across different settings.¹⁵ However, the main aspect we have focused on changing to illustrate different scenarios is the transmission probability of social (household, school, workplace, and community) contacts and the primary source for these data was UK based.²³ The changes we have simulated across scenarios reflect our understanding of possible options for school reopening as discussed in the UK. They are, therefore, fit for purpose within this analysis. Second, as with any modelling study, we have made a series of assumptions within the modelling framework. In particular, we made assumptions about the proportion of SARS-CoV-2 infections that are symptomatic, as evidence in the literature is mixed. WHO suggests that 80% of people with infections show mild symptoms²⁴ and a study from the Italian city of Vo' Euganeo²⁵ at the epicentre of the European pandemic confirms that a large proportion, 30–50%, of people with infections do not have symptoms; however, other studies suggest that this number is smaller—eg, 10% among children,²⁶ 18% among passengers on the Diamond Princess cruise ship,²⁷ and 42% among Japanese people returning from Wuhan.²⁸ There is currently a high degree of uncertainty around the proportion of asymptomatic infection, with evidence²⁹ suggesting that asymptomatic incidence ranges from 2% to 57%. We note, however, that many studies do not differentiate between presymptomatic and asymptomatic infection; instead the number reported is the proportion of individuals not exhibiting symptoms at the time of testing positive. Instead, in our model, we have assumed that asymptomatic infections account for

30% of onward-transmitted infections and that development of symptoms is age dependent. The assumption in this study, as in Covasim, is that 70% of infection is symptomatic and, guided by the findings by Davies and colleagues,²⁰ that the probability of developing clinical symptoms increases from around 20% in individuals aged younger than 20 years to around 69% in people aged older than 70 years. Future analyses will explore how changing the proportion of asymptomatic SARS-CoV-2 infections affects the impact of a test–trace–isolate strategy.

Some of our assumptions about the implementation of a test–trace–isolate strategy are likely to be optimistic in the UK context, so our finding should be interpreted as the minimal amount of testing that would be needed. In particular, we assume a 1-day delay after a test is done before results are communicated, that diagnosed individuals immediately isolate for 14 days with 90% efficacy, and that individuals displaying COVID-19-like symptoms will self-isolate with 50% efficacy until symptoms clear.

Furthermore, in the absence of robust data, we made assumptions (varied in the sensitivity analysis) about the infectiousness among children and young adults aged younger than 20 years. Future analysis might find that infectiousness among children is even lower than 50%, although there are no data suggesting higher transmission than in adults.⁸ Finally, we note that in addition to simulating the current test–trace–isolate policy for the UK, we also simulated an additional level of tracing chosen to resemble a more pessimistic tracing level. We have chosen this level to be 40% as a modelling assumption. For both levels of tracing, 40% and 68%, simulated here, we determined the testing level required to avoid a second COVID-19 wave in the UK during 2020 and 2021. We note that we have not swept the entire testing and tracing level parameter space to explore regimes within the phase plane where R is less than 1 at all timepoints and hence a second wave is avoided, as this is beyond the scope of this work. Indeed, follow-up work on this is currently ongoing both for the UK and the USA.

We also have not modelled in this study the behaviour of young people who are not in school and, specifically, we have not assumed increased social mixing outside schools. Inclusion of this parameter is possible within our framework, but it is currently difficult to quantify. We can rerun the model when reliable estimates are available in future.

In summary, our findings suggest that reopening of schools can form part of the next step of gradual relaxing of lockdown if combined with a high-coverage test–trace–isolate strategy. It is currently unclear when the UK test–trace–isolate strategy will achieve sufficient coverage. Such a strategy, to prevent onward transmission, could possibly comprise virus testing for active infection in symptomatic individuals (ie, RT-PCR tests for SARS-CoV-2) and possibly as part of primary care,

followed by contact tracing of individuals within the network of the infected person and isolation of individuals, including those showing symptoms or diagnosed positive for infection. This approach would be an alternative to intermittent lockdown measures, including further school closures while we await an effective vaccine against SARS-CoV-2.

Contributors

JP-G and RMV conceptualised the study. JP-G, CCK, DM, RMS developed the specific modelling framework, based on the Covasim model developed by CCK, RMS, DM, and DJK. JP-G, CCK, RMS, DM, DJK collated data for the parameters used. JP-G ran the modelling analysis with input from CCK, RMS, and DM. JP-G, RMV, and CB defined the different scenarios in the UK context following conversations with the Scientific Pandemic Influenza Modelling Group, which gives expert advice to the UK Department of Health and Social Care and wider UK Government. JP-G wrote the manuscript with input from CCK, RMS, DM, DJK, RMV, and CB. All authors approved the final version.

Declaration of interests

We declare no competing interests.

Data sharing

The model code for Covasim is available from <https://github.com/InstituteForDiseaseModeling/covasim>. The code used to run all simulations contained in this Article is available from <https://github.com/jasminapg/Covid-19-Analysis>.

Acknowledgments

JP-G was supported by the UK National Institute for Health Research (NIHR) Applied Health Research and Care North Thames at Bart's Health National Health Service Trust. CCK, DM, and DJK were supported by the Bill and Melinda Gates Foundation through the Global Good Fund. The views expressed in this Article are those of the authors and not necessarily those of the National Health Service, the NIHR, or the UK Department of Health and Social Care. We acknowledge Graham Medley (London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, UK) on helpful discussions around the modelling scenarios, Edwin van Leeuwen (Public Health England, London, UK), Tim Colbourn (University College London, London, UK), and William Waites (University of Edinburgh, Edinburgh, UK) for their helpful conversations about different modelling approaches, and Ruth Gilbert (University College London) for reading an earlier version of the paper.

References

- WHO. Coronavirus disease (COVID-19). Situation report—156. June 24, 2020. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200624-covid-19-sitrep-156.pdf?sfvrsn=af42e480_2 (accessed June 25, 2020).
- Ferguson NM, Laydon D, Nedjati-Gilani G, et al. Report 9: impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. March 16, 2020. <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf> (accessed May 20, 2020).
- UN Educational, Scientific and Cultural Organisation. COVID-19 educational disruption and response. 2020. <https://en.unesco.org/themes/education-emergencies/coronavirus-school-closures> (accessed March 19, 2020).
- Whittaker F. Coronavirus: School attendance around 1%, finds DfE analysis. April 21, 2020. <https://schoolsweek.co.uk/coronavirus-school-attendance-around-1-finds-dfe-analysis/> (accessed July 27, 2020).
- Royal Society DELVE Initiative. Balancing the risks of pupils returning to schools. July 24, 2020. <https://rs-delve.github.io/reports/2020/07/24/balancing-the-risk-of-pupils-returning-to-schools.html#1-background> (accessed July 31, 2020).
- Viner RM, Russell SJ, Croker H, et al. School closure and management practices during coronavirus outbreaks including COVID-19: a rapid systematic review. *Lancet Child Adolesc Health* 2020; 4: 397–404.
- O'Sullivan TL, Amaratunga C, Phillips KP, et al. If schools are closed, who will watch our kids? Family caregiving and other sources of role conflict among nurses during large-scale outbreaks. *Prehosp Disaster Med* 2009; 24: 321–25.
- Brurberg KD. The role of children in the transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19), 1st update—a rapid review. Oslo: Norwegian Institute of Public Health, 2020.
- Macartney K, Quinn HE, Pillsbury AJ, et al. Transmission of SARS-CoV-2 in Australian educational settings: a prospective cohort study. *Lancet Child Adolesc Health* 2020; published online Aug 3. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30251-0](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30251-0).
- Bi Q, Wu Y, Mei S, et al. Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study. *Lancet Infect Dis* 2020; published online April 27. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30287-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30287-5).
- Viner RM, Mytton O, Bonell C, et al. Susceptibility to COVID-19 amongst children and adolescents compared with adults: a systematic review and meta-analysis. *medRxiv* 2020; published online May 24. DOI:10.1101/2020.05.20.20108126 (preprint).
- Abramson A. How COVID-19 may increase domestic violence and child abuse. April 8, 2020. <https://www.apa.org/topics/covid-19/domestic-violence-child-abuse> (accessed May 20, 2020).
- UK Government. Coronavirus (COVID-19) in the UK. https://coronavirus.data.gov.uk/?_ga=2.41681382.554770926.1588844302-1722033634.1588620867 (accessed May 6, 2020).
- Jones TC, Muhlemann B, Veith T, et al. An analysis of SARS-CoV-2 viral load by patient age. *medRxiv* 2020; published online June 9. DOI:10.1101/2020.06.08.20125484 (preprint).
- Kerr CC, Stuart RM, Mistry D, et al. Covasim: an agent-based model for COVID-19 dynamics and suppression scenarios. *medRxiv* 2020; published online May 15. DOI:10.1101/2020.05.10.20097469 (preprint).
- Zhang J, Litvinova M, Liang Y, et al. Changes in contact patterns shape the dynamics of the COVID-19 outbreak in China. *Science* 2020; 368: 1481–86.
- UK Department for Education. Attendance in education and early years settings during the coronavirus (COVID-19) outbreak – summary of returns to 4 June. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/890949/Attendance_figures_coronavirus_covid_19_4_June_2020.pdf (accessed July 30, 2020).
- Boseley S. Contact tracers in England get no data from 26% of people with coronavirus. June 18, 2020. <https://www.theguardian.com/world/2020/jun/18/contact-tracers-in-england-get-no-data-from-26-of-people-with-coronavirus> (accessed May 20, 2020).
- Triggle N. Coronavirus: One in four infected by virus cannot be reached. June 18, 2020. https://www.bbc.co.uk/news/health-53009775?intlink_from_url=https://www.bbc.co.uk/news/topics/ck2l9qxx17nt/coronavirus-testing&link_location=live-reporting-story (accessed May 20, 2020).
- Davies NG, Klepac P, Liu Y, et al. Age-dependent effects in the transmission and control of COVID-19 epidemics. *Nat Med* 2020; published online June 16. DOI:10.1038/s41591-020-0962-9.
- Shim E, Tariq A, Choi W, Lee Y, Chowell G. Transmission potential and severity of COVID-19 in South Korea. *Int J Infect Dis* 2020; 93: 339–44.
- Cohen J, Kupferschmidt K. Countries test tactics in 'war' against COVID-19. *Science* 2020; 367: 1287–88.
- Prem K, Cook AR, Jit M. Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLoS Comput Biol* 2017; 13: e1005697.
- WHO. Coronavirus disease 2019 (COVID-19). Situation report—46. March 6, 2020. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf?sfvrsn=96b04adf_4 (accessed May 20, 2020).
- Lavezzo E, Franchin E, Ciavarella C, et al. Suppression of COVID-19 outbreak in the municipality of Vo, Italy. *medRxiv* 2020; published online April 18. DOI:10.1101/2020.04.17.20053157 (preprint).
- Qiu H, Wu J, Hong L, Luo Y, Song Q, Chen D. Clinical and epidemiological features of 36 children with coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Zhejiang, China: an observational cohort study. *Lancet Infect Dis* 2020; 20: 689–96.

-
- 27 Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. *Euro Surveill* 2020; **25**: 2000180.
- 28 Nishiura H, Kobayashi T, Miyama T, et al. Estimation of the asymptomatic ratio of novel coronavirus infections (COVID-19). *Int J Infect Dis* 2020; **94**: 154–55.
- 29 Gao Z, Xu Y, Sun C, et al. A systematic review of asymptomatic infections with COVID-19. *J Microbiol Immunol Infect* 2020; published online May 15. DOI:10.1016/j.jmii.2020.05.001.

TITLE: Identifying Optimal COVID-19 Testing Strategies for Schools and Businesses: Balancing Testing Frequency, Individual Test Technology, and Cost

AUTHORS: Gregory D. Lyng, PhD¹, Natalie E. Sheils, PhD¹, Caleb J. Kennedy, PhD¹, Daniel Griffin, MD, PhD^{2, 3}, Ethan M. Berke, MD, MPH¹

AFFILIATIONS:

1. UnitedHealth Group, Research and Development, Minnetonka, MN
2. Columbia University, Department of Medicine, Division of Infectious Diseases, New York, NY
3. ProHealth Care, Optum, Lake Success, NY

CORRESPONDING AUTHOR:

Ethan Berke, MD, MPH

Chief Public Health Officer

UnitedHealth Group

5995 Opus Parkway

Minnetonka, MN 55343

T +1 952.219.4025

ethan.berke@uhg.com

ABSTRACT:

Background: COVID-19 test sensitivity and specificity have been widely examined and discussed yet optimal use of these tests will depend on the goals of testing, the population or setting, and the anticipated underlying disease prevalence. We model various combinations of key variables to identify and compare a range of effective and practical surveillance strategies for schools and businesses.

Methods: We coupled a simulated data set incorporating actual community prevalence and test performance characteristics to a susceptible, infectious, removed (SIR) compartmental model, modeling the impact of base and tunable variables including test sensitivity, testing frequency, results lag, sample pooling, disease prevalence, externally-acquired infections, and test cost on outcomes case reduction.

Results: Increasing testing frequency was associated with a non-linear positive effect on cases averted over 100 days. While precise reductions in cumulative number of infections depended on community disease prevalence, testing every 3 days versus every 14 days (even with a lower sensitivity test) reduces the disease burden substantially. Pooling provided cost savings and made a high-frequency approach practical; one high-performing strategy, testing every 3 days, yielded per person per day costs as low as \$1.32.

Conclusions: A range of practically viable testing strategies emerged for schools and businesses. Key characteristics of these strategies include high frequency testing with a moderate or high sensitivity test and minimal results delay. Sample pooling allowed for operational efficiency and cost savings with minimal loss of model performance.

INTRODUCTION

As schools and businesses re-open and attempt to stay open, promptly detecting people with infectious COVID-19 is essential, especially as the risk of transmission is expected to increase with colder weather, more time indoors, and closer contact with others.^{1, 2} Recommended actions to attenuate spread include symptom checking, monitoring underlying community prevalence, and responsive policy adjustment. In addition to robust public health measures, successful return to normalcy will be accelerated and hopefully sustained by optimal COVID-19 testing strategies. Despite being commonly recommended, little guidance suggests the right approach to testing and how best to balance cost, test selection, results delays, the value of sample pooling, and how changing local disease prevalence should inform strategy adjustments.

Throughout the pandemic the number and variety of tests for detecting active infection have steadily increased.³ Current tests include nucleic acid amplification tests (NAATs) such as reverse-transcription or reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR), template mediated amplification (TMA), nicking enzyme amplification reaction (NEAR), loop-mediated isothermal amplification (LAMP), nucleic acid hybridization, viral metagenomic sequencing, and CRISPR-based assays. Most Food and Drug Administration (FDA) - Emergency Use Authorization (EUA) tests are approved for symptomatic patients, but not all are validated in an asymptomatic population. Despite these scientific advancements, there is scant guidance on how to apply a specific technology in the context of the underlying population and the goal of testing, such as diagnosis of an individual versus surveillance of a group. Cost, turnaround time, and convenience in sample collection all play a role in achieving a rate of testing that achieves a goal of detecting and preventing transmission in a cohort. A testing strategy is not feasible if the cost per test at the individual level is too high, or the time to obtain results is too

long, resulting in possible transmission while positive test results are in transit or missing an opportunity to attend work or school if the result is negative. To increase test processing efficiency and reduce cost, pooling of samples is a potential solution provided there is minimal degradation in test performance due to dilution, but a strategy should be devised carefully. Successful pooling strategies rely on a clear understanding of the test's limit of detection (LOD), sensitivity, specificity, and the prevalence of disease in the population being tested.⁴

Testing in large cohort settings such as schools and businesses that require continued surveillance can ensure that facilities remain open safely for the greatest number of people. We model various scenarios of test sensitivity and specificity, testing frequency, cost, and pooling to illustrate the range of practical and sustainable surveillance strategies.

METHODS

To compare the effects of test sensitivity and specificity, test frequency, and the impact of pooling we considered a classical epidemiological susceptible, infectious, removed (SIR) compartmental model for the tested population. To account for the introduction of infections from the surrounding community, we added a time-dependent term which represents the rate (in people/time) of infections from outside interactions continuously in time. With frequent testing, this external forcing drives the behavior of the model (Figure 1). We examine two scenarios for this forcing. The first is a relatively low and more-or-less constant rate of introduced infections, with data from the 7-day rolling average of the case count in Fayette County, Pennsylvania for the 100 days beginning March 26, 2020 as reported in the New York Times.⁵ This low-growth profile is reported as panel (a) in Figures 2, 3, and 4. The second scenario used for high-growth external community prevalence is the seven-day rolling average

of daily case counts in Miami-Dade County, Florida for the 100 days beginning June 16, 2020. This profile is shown in panel (b) in Figures 2, 3, and 4. In both profiles, we scaled the cases given by the relative population in our model, which we chose to be 1500. To model pooled testing we solved the SIR model over τ days, with the initial test on day zero. To account for possible delays in receiving test results, we allowed for a delay parameter, d . On day $\tau + d$ we stopped the model and restarted with new “initial conditions” which account for the transfer of people who tested positive and are thus removed from mixing in the model. We adjusted for test sensitivity and applied a linear discount rate for pooling of 0.00323, consistent with minimal sample dilution or degradation in a nasal or nasopharyngeal sample.⁶ Other discount rates may be more appropriate in different settings, such as saliva sampling.⁷ Our model allows for a varied percent of those that are infected to choose to comply with isolation protocols; in the scenarios presented we set this tunable assumption to be perfect compliance. We assume the basic reproduction number R_0 is 2.5 and the average period of infectiousness is 9 days.^{8, 9, 10, 11} The initial conditions are chosen from the average of population-scaled new confirmed cases reported by the New York Times for September 23, 2020 in a sample of counties scaled by average number of infectious days. This results in a starting value of 1.35 infections for a population of size 1500. We take the conservative approach of assuming no one in the population has immunity to the virus based on previous infection. In the tests that follow we vary the testing frequency (τ), delay in the return of results (d), number of samples pooled (m), sensitivity of the test on one sample, and specificity of the test. We computed the cost of each testing strategy at the per person per day level, over 100 days. When pooling ($m > 1$), we assumed a simple 2-stage Dorfman testing process in which each individual in a positive pool is retested individually using a high-sensitivity diagnostic test at \$100 per test. We then calculated the expected number of tests required

to complete each round of testing. The complete scientific code is available as a supplementary file. All analysis was done using Julia v1.5.1.¹²

RESULTS

Figure 2 demonstrates scenarios of testing frequency at sensitivities of 98% with a two-day delay in receiving results during which mixing continues (Figure 2c, d), 98% with no delay in receiving results (Figure 2e, f), and 60% with no delay (Figure 2g, h) to simulate testing by various technologies such as PCR with lags between sample collection and centralized laboratory testing, antigen detection, and LAMP. As there are little data on the performance of some tests in asymptomatic people, we used more conservative sensitivity estimates aligning to published LOD for specific devices from the FDA.¹³ The sawtooth pattern is the result of removal of infected persons from the population.

Any testing strategy is better than none at all, and as expected, tests with increased sensitivities perform for a given time frequency. At the most lenient frequency considered, every 14 days, the number of infections is reduced approximately 31-98% (Table 1) compared to no testing at all. Each scenario can be explored comparatively. For example, at a test sensitivity of 80%, the effect of testing every day in a population of 1500 compared to testing every 14 days reduced the number of cumulative infections at day 100 by 364 in the low prevalence community and by 958 in the high prevalence community. Increased testing frequency results in a nonlinear decrease in cumulative infections over time, with daily testing resulting in the fewest cumulative infections at 100 days after implementing the testing strategy at any of the sensitivities shown. Importantly, at sensitivities of 98% our models predict that a two-day delay in results (by send-out PCR, for example) will result in a just a 59% reduction in infections experienced at a 14-day testing frequency; however, as the testing

frequency is increased, even with the two-day delay, the number of missed infections goes down rapidly to over a 99% reduction from no testing at all at a daily testing frequency.

Next we looked at testing strategies that incorporate pooling. Figure 3 combines a weekly and every 3 day testing strategy with 98% sensitive tests with varying time delay, and pooling tests in samples of 2, 5, 10, and 30. Pooling potentially reduces the sensitivity of the tests, resulting in more missed infections. This can be overcome by an increase in test frequency, allowed by the cost savings of pooling. Figure 4 weighs cost against testing frequency and pooling size, both with confirmatory and without confirmatory testing of positive pools. Without confirmatory testing, the cost per person decreases dramatically.

DISCUSSION

Our findings demonstrate that it is not only critical to choose the right test in terms of performance in asymptomatic individuals, but to use the test in the defined population at the optimal frequency to reduce the risk of case escalation. Optimization is further enhanced at the population level by understanding of underlying disease prevalence and utilization of pooling to reduce cost and increase efficiency. The “ideal” test strategy must be balanced with the practicalities of cost per person to ensure sustainability. For example, daily testing with a 60% sensitive test attenuates community spread, but at a cost of \$30.10 per person per day with confirmatory testing, or \$20.00 without, may not be possible. Using a 60% sensitive test less frequently reduces expense but sacrifices significant performance. A 98% sensitive test with no delay in results administered every 3 days with pooling, and no confirmatory test offered by the institution costs less than \$1.50 per person per day, with high performance. The model demonstrates that frequency of testing, test sensitivity, turn-around time,

and the external community prevalence are all important factors to consider, and there is often more than one testing strategy to achieve the desired level of performance. The computational code and an is available in the online supplement and an easy-to-use web-based simulator is to test various scenarios at <https://calculator.unitedinresearch.com/>.

With these scenarios in hand, institutions can make an informed operational choice, devise pods or cohorts to be tested by pooling and potentially isolated if positive, and create clear communication about a surveillance rationale. Acknowledging a dynamic community prevalence, the model can be re-run, and the testing strategy can be optimized to maximize benefit at the lost cost and least amount of disruption.

The frequency of test usage to minimize amplification of infection and allow schools and worksites to remain open is an important factor. Given the cost of high frequency testing, we demonstrate the value of pooling of samples to increase efficiency, particularly in areas with lower population prevalence. As background prevalence increases, the value of pooling diminishes as the likelihood of a positive pool will rise, but even a pool of two to three samples results in a dramatic reduction in the need for individual sample analysis. It is worth noting that with an extremely low prevalence, even in the case of a 99.5% specific test, false positives are much more likely than true positives and confirmatory testing may be necessary. A 90% specificity test would result in a large number of false positives over the course of 100 days. As shown in Figure 4, in order to achieve a minimal cost approach that includes confirmatory testing, one must balance pool size with frequency. Without confirmatory testing, costs drop dramatically (Figure 4g, h). More sophisticated confirmatory testing strategies exist that may lower costs but still reduce the likelihood that uninfected individuals are sent

home, such as sub-pooling of positive pools without individual level testing, each with benefits and disadvantages.^{14, 15}

Our work is supported by prior discoveries. Paltiel et al.¹⁶ considered a compartment-based model simulating an abbreviated 80-day semester in a highly-residential college-campus-type setting. Across all scenarios considered, test frequency was more associated with cumulative infection than test sensitivity. That modeling exercise also suggested that symptom-based screening alone is insufficient to contain an outbreak under any of the scenarios considered. Using a model for viral loads in individuals, Larremore et al.¹⁷ studied surveillance effectiveness using an agent-based modeling framework which accounts for test sensitivities, frequency, and sample-to-answer reporting time. The results indicate that frequency of testing and the speed of reporting are the principal contributors to surveillance effectiveness. The results also show that the impact of high sensitivity on surveillance effectiveness is, relatively, small.

Populations housed in long-term care facilities are especially vulnerable to COVID-19; surveillance programs designed for these settings may have different goals and tolerances for infection risk than those designed to maintain functionality for other institutions. Smith and colleagues⁶ built a complex modeling framework for long-term care facilities including simulations of the detailed inter-individual contact networks describing patient-staff interactions in such settings. This work showed that symptom-based screening by itself had limited effectiveness. Testing upon admission detected most asymptomatic cases upon entry but missed potential introductions from staff. Random daily testing was determined to be, overall, an inefficient use of resources. This points to the opportunity for

pooled testing as an effective and efficient COVID-19 surveillance strategy for long-term care facilities with limited resources.

Since our work focuses on screening and not performing diagnostic testing, the actual sensitivity of the various available COVID tests for this purpose is not entirely clear. The original testing approaches for COVID-19 focused on the high sensitivity required for diagnosis by clinicians in all stages of the acute period of COVID-19 through detection of SARS-CoV-2 RNA performed on patients with a high pretest probability of disease. This paradigm focused on high sensitivity tests with the performance feature of very low NAAT detectable units/mL (NDU/mL) with a goal of diagnosing patients even if past the contagious period. These tests were not optimized nor validated in terms of sensitivity for the detection of infectious individuals that might spread disease in schools, the workplace or other social situations.

Several studies looking at the ability to culture virus from samples collected from infected individuals have established that RNA copy numbers of 1,000,000 RNA copies/ml or higher are required for any consistent success in viral culture.^{18, 19, 20, 21, 22} Based on contact tracing, this defined window of elevated RNA copy numbers starting 2-3 days prior to onset of symptoms and ending 5-9 days after symptom onset corresponds to most if not all cases of transmission. Studies of asymptomatic spreading suggests a very similar window of transmissibility during this period of time when RNA copy numbers are 1,000,000 copies/ml or higher.^{11, 23, 24} Given that RT-PCR testing can have a sensitivity or LOD as low as <1,000 RNA copies/mL (1,000 NDU), there should ample performance in testing technology to leverage high-volume, high-frequency pooling, provided samples are not diluted by

storage or buffering media beyond the minimum LOD when employed to detected asymptomatic but infectious individuals.²⁵

Our work has a number of limitations. The SIR compartmental model provides a simplified representation of the natural history of the disease. For example, it does not account for the distinction between symptomatic and asymptomatic cases. In addition, the model assumes uniform mixing of the population being tested and a uniform distribution of likelihood of a positive test. The model is formulated at a population level; it does not permit the tracking of individuals. In a low population prevalence, we expect a high number of false positives given assumed specificities of 99.5% and 90%. Individuals who recover from the disease are granted permanent immunity in our model, although the risk of reinfection now appears possible.^{26, 27, 28, 29, 30, 31} Our pooling model assumed nasal or naso-pharyngeal swab samples. Because of the nature of saliva, the small sensitivity discount rate assumption in our model may not be valid due to greater sample dilution.³² Finally, the model does not naturally incorporate phased, pulsed, or partial testing (1st graders on Monday, 2nd graders on Tuesday, etc.).

Despite these limitations, sensitivity, pooling, and frequency modeling can guide institutions on best-fit testing strategies that align to their practical constraints. Organizations can apply this model to determine their best testing strategy given current community prevalence and operational and financial resources that enable sustained testing to stay safely open during the pandemic.

REFERENCES:

1. Service RF. Coronavirus antigen tests: quick and cheap, but too often wrong? Science | AAAS. Published May 22, 2020. Accessed September 23, 2020. <https://www.sciencemag.org/news/2020/05/coronavirus-antigen-tests-quick-and-cheap-too-often-wrong>
2. Corman VM, Rabenau HF, Adams O, et al. SARS-CoV-2 asymptomatic and symptomatic patients and risk for transfusion transmission. *Transfusion*. 2020;60(6):1119-1122. doi:10.1111/trf.15841
3. FDA. Emergency Use Authorization. FDA. Published online September 22, 2020. Accessed September 23, 2020. <https://www.fda.gov/emergency-preparedness-and-response/mcm-legal-regulatory-and-policy-framework/emergency-use-authorization>
4. Abdalhamid B, Bilder CR, McCutchen EL, Hinrichs SH, Koepsell SA, Iwen PC. Assessment of Specimen Pooling to Conserve SARS CoV-2 Testing Resources. *Am J Clin Pathol*. Published online April 18, 2020. doi:10.1093/ajcp/aqaa064
5. The New York Times. NYT COVID-19 Data. COVID-19 Data. Published September 23, 2020. Accessed September 23, 2020. <https://github.com/nytimes/covid-19-data>
6. Smith, David RM, Duval, Audrey, Pouwels, Koen B, et al. Optimizing COVID-19 surveillance in long-term care facilities: a modelling study. Published online August 13, 2020. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.19.20071639v2>
7. Watkins AE, Fenichel EP, Weinberger DM, et al. *Pooling Saliva to Increase SARS-CoV-2 Testing Capacity*. *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*; 2020. doi:10.1101/2020.09.02.20183830

8. Wu JT, Leung K, Leung GM. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*. 2020;395(10225):689-697. doi:10.1016/S0140-6736(20)30260-9
9. He X, Lau EHY, Wu P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Medicine*. 2020;26(5):672-675. doi:10.1038/s41591-020-0869-5
10. Griffin JM, Collins AB, Hunt K, et al. A rapid review of available evidence on the serial interval and generation time of COVID-19. *medRxiv*. Published online January 1, 2020:2020.05.08.20095075. doi:10.1101/2020.05.08.20095075
11. Ferretti L, Ledda A, Wymant C, et al. The timing of COVID-19 transmission. *medRxiv*. Published online September 16, 2020:2020.09.04.20188516. doi:10.1101/2020.09.04.20188516
12. Bezanson J, Edelman A, Karpinski S, Shah VB. Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing. *SIAM Rev*. 2017;59(1):65-98. doi:10.1137/141000671
13. Health C for D and R. SARS-CoV-2 Reference Panel Comparative Data. *FDA*. Published online September 15, 2020. Accessed September 25, 2020. <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/sars-cov-2-reference-panel-comparative-data>
14. Bilder CR. Group Testing for Identification. In: *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. American Cancer Society; 2019:1-11. doi:10.1002/9781118445112.stat08227
15. Chan CL, Jaggi S, Saligrama V, Agnihotri S. Non-Adaptive Group Testing: Explicit Bounds and Novel Algorithms. *IEEE Transactions on Information Theory*. 2014;60(5):3019-3035. doi:10.1109/TIT.2014.2310477

16. Paltiel AD, Zheng A, Walensky RP. Assessment of SARS-CoV-2 Screening Strategies to Permit the Safe Reopening of College Campuses in the United States. *JAMA Netw Open*. 2020;3(7):e2016818-e2016818. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.16818
17. Larremore DB, Wilder, Bryan, Lester, Evan, et al. Test sensitivity is secondary to frequency and turnaround time for COVID-19 surveillance.
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.22.20136309v3>
18. Bullard J, Dust K, Funk D, et al. Predicting Infectious Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 From Diagnostic Samples. *Clin Infect Dis*. doi:10.1093/cid/ciaa638
19. He D, Zhao S, Lin Q, et al. The relative transmissibility of asymptomatic COVID-19 infections among close contacts. *International Journal of Infectious Diseases*. 2020;94:145-147.
doi:10.1016/j.ijid.2020.04.034
20. Huang C-G, Lee K-M, Hsiao M-J, et al. Culture-Based Virus Isolation To Evaluate Potential Infectivity of Clinical Specimens Tested for COVID-19. *Journal of Clinical Microbiology*. 2020;58(8).
doi:10.1128/JCM.01068-20
21. Perera RAPM, Tso E, Tsang OTY, et al. SARS-CoV-2 Virus Culture and Subgenomic RNA for Respiratory Specimens from Patients with Mild Coronavirus Disease. *Emerging Infectious Diseases*. 26(11). doi:10.3201/eid2611.203219
22. Singanayagam A, Patel M, Charlett A, et al. Duration of infectiousness and correlation with RT-PCR cycle threshold values in cases of COVID-19, England, January to May 2020. *Eurosurveillance*. 2020;25(32):2001483. doi:10.2807/1560-7917.ES.2020.25.32.2001483

23. Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. *Eurosurveillance*. 2020;25(10):2000180. doi:10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000180
24. Savvides, Christina, Siegel, Robert. Asymptomatic and presymptomatic transmission of SARS-CoV-2: A systematic review. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.11.20129072v2>
25. Zhen W, Manji R, Smith E, Berry GJ. Comparison of Four Molecular In Vitro Diagnostic Assays for the Detection of SARS-CoV-2 in Nasopharyngeal Specimens. *Journal of Clinical Microbiology*. 2020;58(8). doi:10.1128/JCM.00743-20
26. Kirkcaldy RD, King BA, Brooks JT. COVID-19 and Postinfection Immunity: Limited Evidence, Many Remaining Questions. *JAMA*. 2020;323(22):2245-2246. doi:10.1001/jama.2020.7869
27. Xing Y, Mo P, Xiao Y, Zhao O, Zhang Y, Wang F. Post-discharge surveillance and positive virus detection in two medical staff recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19), China, January to February 2020. *Eurosurveillance*. 2020;25(10):2000191. doi:10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000191
28. Bao L, Deng W, Gao H, et al. Lack of Reinfection in Rhesus Macaques Infected with SARS-CoV-2. *bioRxiv*. Published online May 1, 2020:2020.03.13.990226. doi:10.1101/2020.03.13.990226
29. Xiao AT, Tong YX, Zhang S. False negative of RT-PCR and prolonged nucleic acid conversion in COVID-19: Rather than recurrence. *Journal of Medical Virology*. 2020;92(10):1755-1756. doi:10.1002/jmv.25855

30. Lan L, Xu D, Ye G, et al. Positive RT-PCR Test Results in Patients Recovered From COVID-19. *JAMA*. 2020;323(15):1502-1503. doi:10.1001/jama.2020.2783

31. Wu J, Liu X, Liu J, et al. Coronavirus Disease 2019 Test Results After Clinical Recovery and Hospital Discharge Among Patients in China. *JAMA network open*. 2020;3(5):e209759. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.9759

32. Watkins AE, Fenichel EP, Weinberger DM, et al. Pooling saliva to increase SARS-CoV-2 testing capacity. *medRxiv*. Published online September 3, 2020:2020.09.02.20183830. doi:10.1101/2020.09.02.20183830

Figure 1. Schematic of the model. The model simulates testing for a common group of people who mix continuously in an institution (i.e., in a school or office) and are subject to the introduction of infection from the surrounding unmonitored community. The framework couples regular testing, described by a handful of tunable parameters, to a disease model. The disease model is dynamic in time, and infections may originate both from inside-the-institution mixing and from the surrounding community at varying rates depending on prevalence.

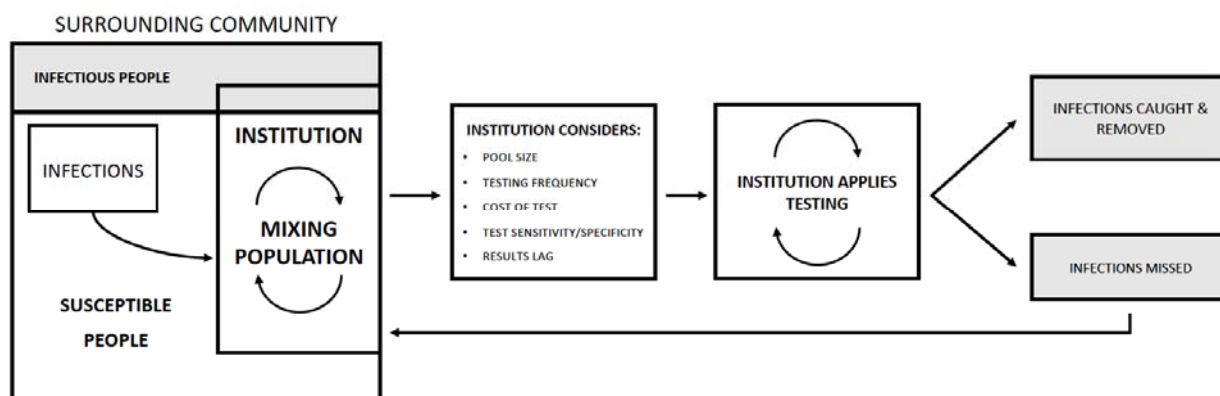
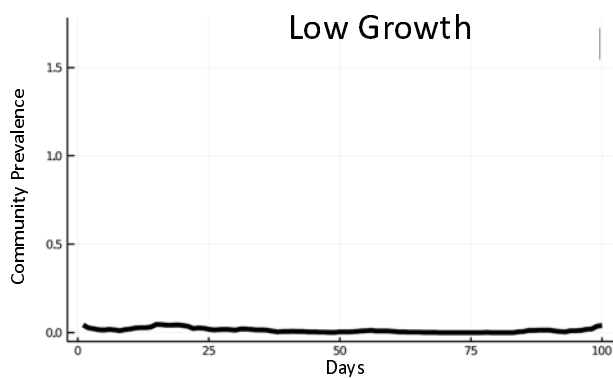
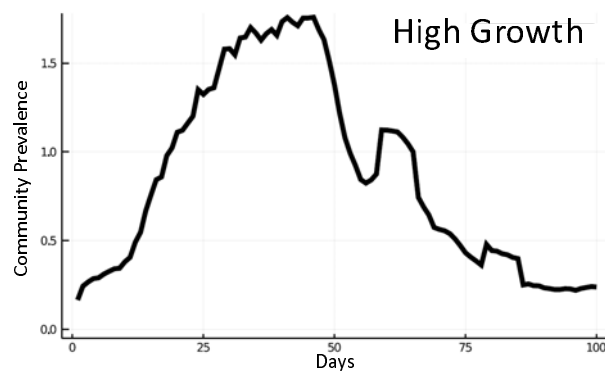


Figure 2. Impact of testing frequency. Two scenarios for community prevalence corresponding, relatively, to low and high rates of imported infections (Panels (a) and (b)). Testing with a test with 98% sensitivity with 0-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (c) and (d)). Testing with a test with 98% sensitivity with 2-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (e) and (f)). Testing with a test with 60% sensitivity with 0-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (g) and (h)). Uncropped figures are available in the supplement. Purple (dash-dot-dot) corresponds to no testing, orange (solid) to testing every two weeks, green for testing every week (dash-dot), blue (dash) for testing every 3 days, and red (dot) for daily testing.

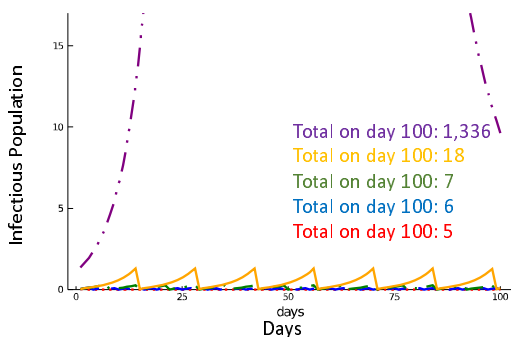


(a)

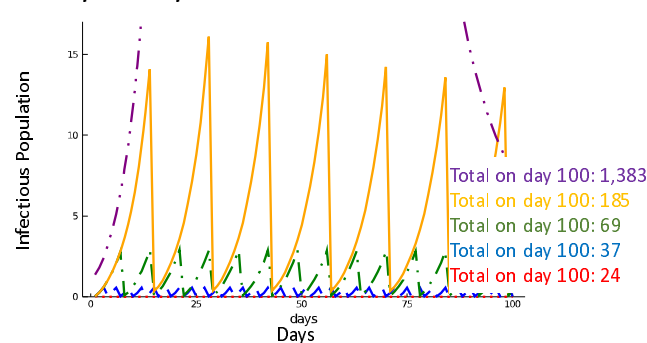


(b)

98% Sensitivity, 0-Day Delay

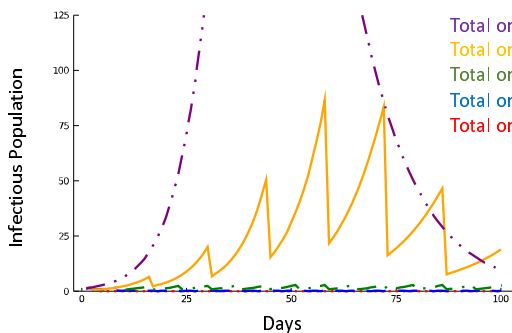


(c)

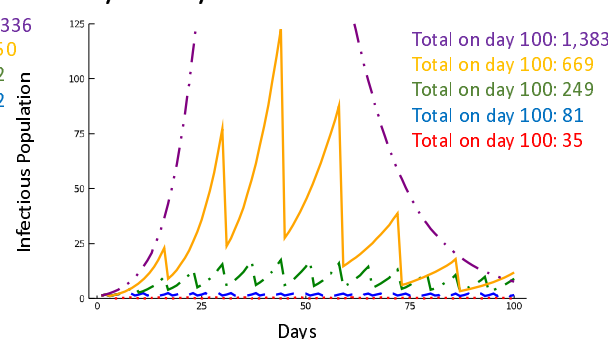


(d)

98% Sensitivity, Two-Day Delay

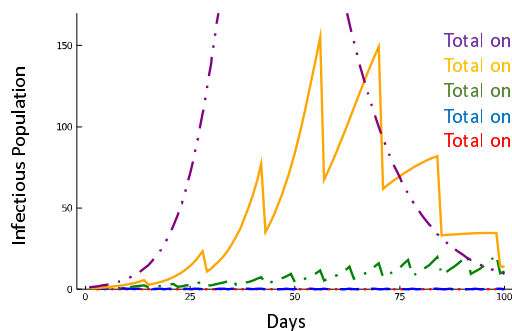


(e)

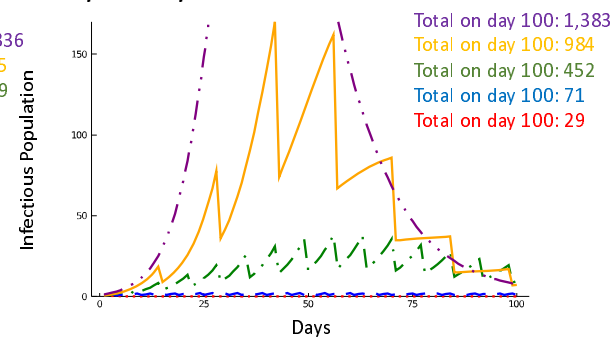


(f)

60% Sensitivity, 0-Day Delay

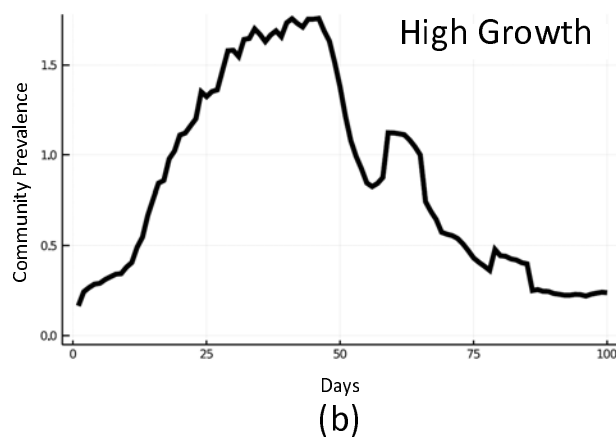
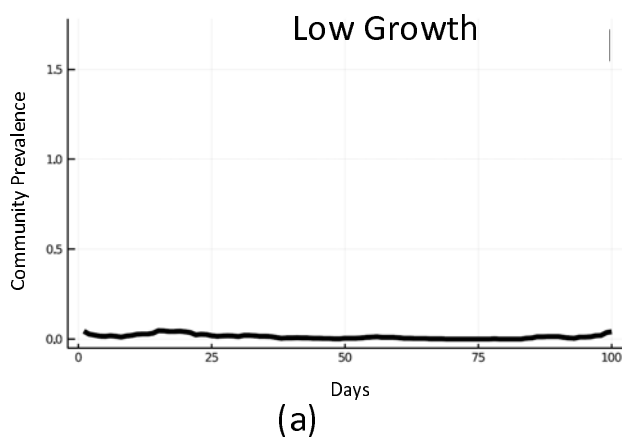


(g)

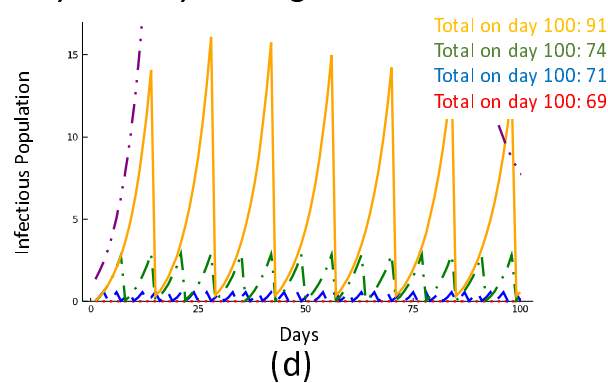
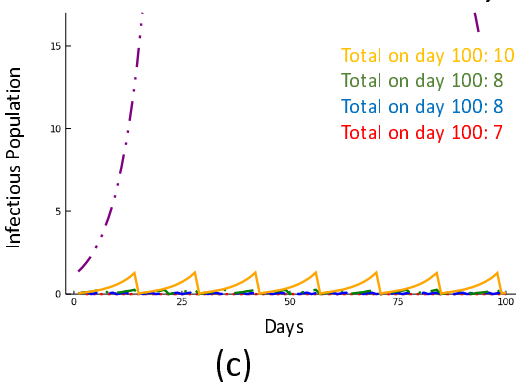


(h)

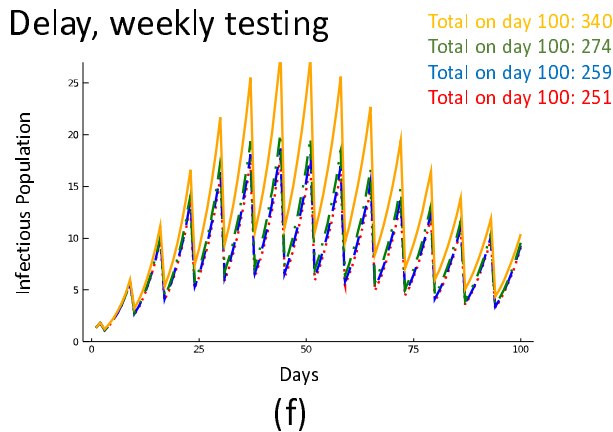
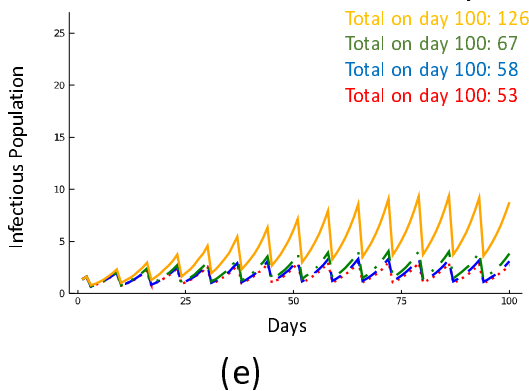
Figure 3. Effect of pool size. Two scenarios for community prevalence corresponding, relatively, to low and high rates of imported infections (Panels (a) and (b)). Testing weekly with a test with 98% sensitivity with 0-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (c) and (d)). Testing weekly with a test with 98% sensitivity with 2-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (e) and (f)). Testing every 3 days with a test with 98% sensitivity with 2-day resulting delay amidst high and low community prevalence (Panels (g) and (h)). Orange lines (solid) correspond to 30 samples pooled, green (dash-dot) to ten samples pooled, blue (dash) to five samples pooled, and red (dot) to 2 samples pooled.



98% Sensitivity, 0-Day Delay, weekly testing



98% Sensitivity, Two-Day Delay, weekly testing



98% Sensitivity, Two-Day Delay, testing every 3 days

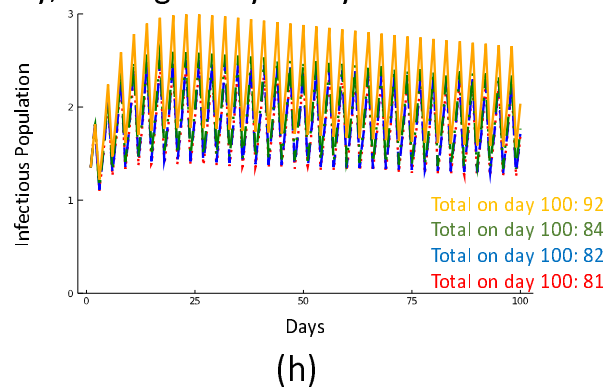
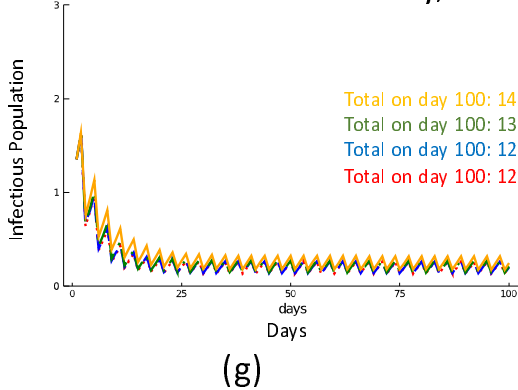
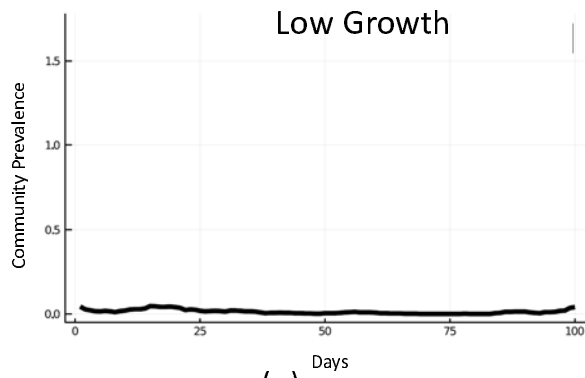
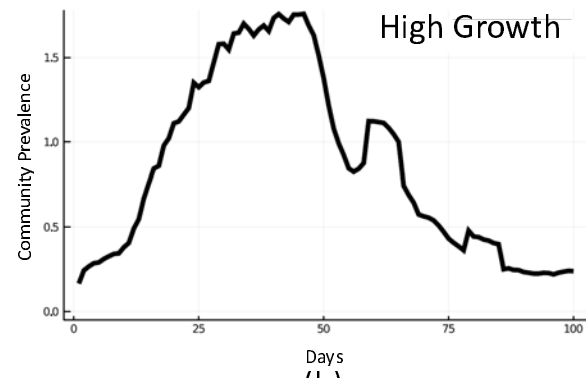


Figure 4. Cost comparison map for various pooling and frequency scenarios with and without confirmatory testing.*

* Use case of a test with 98% sensitivity and 99.5% specificity with a 2-day result delay costing \$100 and a 98% sensitive test with 99.5% specificity and a 0 day result delay costing \$120. In (c,d, g, h) every person in a positive pool is retested for confirmation and in (e, f) no confirmatory testing is done. We assume all confirmatory tests cost \$100. Colors correspond to cost per person per day in dollars.

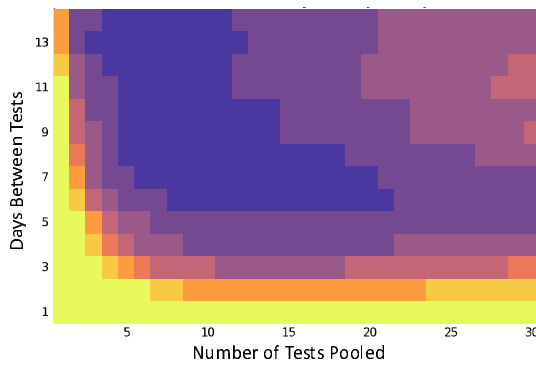


(a)

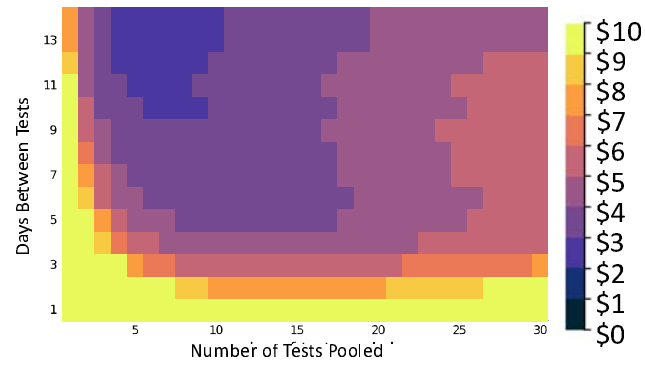


(b)

With Confirmatory Testing, 98% Sensitivity, Two-Day Delay

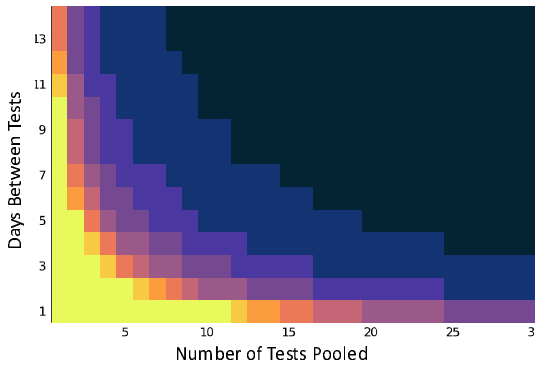


(c)

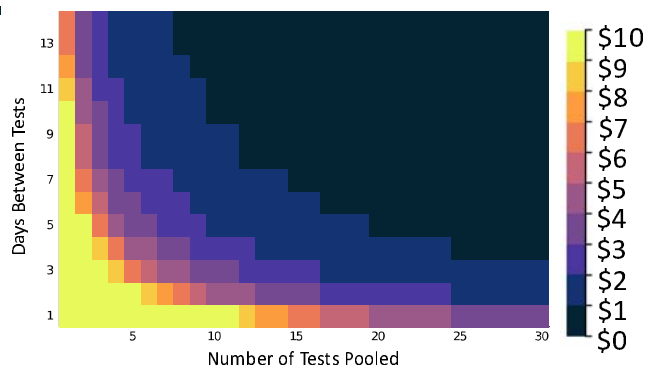


(d)

No Confirmatory Testing, 98% Sensitivity, Two-Day Delay

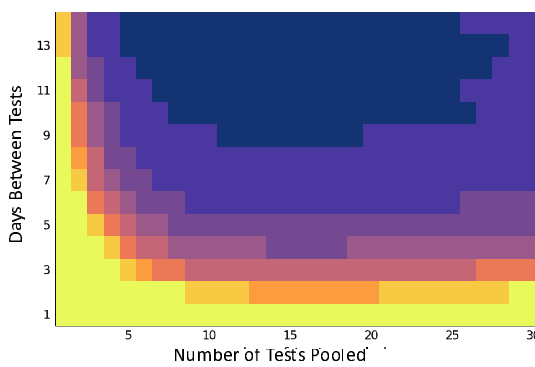


(e)

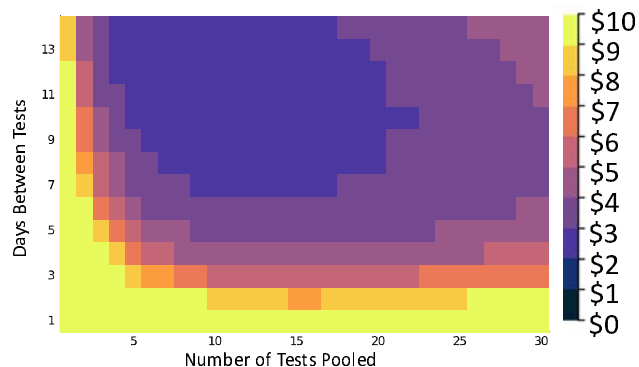


(f)

With Confirmatory Testing, 98% Sensitivity, Zero-Day Delay



(g)



(h)

TABLE 1. Selected testing strategies ranked by reduction in cumulative infections, with and without confirmatory testing, for scenarios costing less than \$10 per person per day.*

Community Prevalence: Low										
Sensitivity	Specificity	Delay (days)	Frequency (days)	Pool Size	Cumulative Infections experienced (over 100 days)	Cumulative Infections Caught (over 100 days)	Cumulative False Positives (over 100 days)	Per person, per day cost without confirmatory testing (\$)	Per person, Per day cost with confirmatory testing (\$)	% Reduction in Cumulative Infections Experienced
0.98	0.995	0	3	5	6	5	262	\$ 7.92	\$ 8.80	99.58%
0.98	0.995	0	3	10	6	5	262	\$ 3.96	\$ 5.70	99.57%
0.98	0.995	0	3	30	6	5	262	\$ 1.32	\$ 6.30	99.54%
0.98	0.995	0	7	2	7	6	120	\$ 8.40	\$ 8.57	99.44%
0.98	0.995	0	7	5	8	6	120	\$ 3.36	\$ 3.78	99.43%
0.98	0.995	0	7	10	8	6	120	\$ 1.68	\$ 2.50	99.39%
0.98	0.995	0	7	30	10	8	120	\$ 0.56	\$ 2.93	99.23%
0.6	0.9	0	3	1	11	8	5249	\$ 6.60	\$ 10.10	99.16%
0.98	0.995	2	3	5	12	9	262	\$ 6.60	\$ 7.50	99.08%
0.98	0.995	2	3	30	14	10	262	\$ 1.10	\$ 6.16	98.95%
0.8	0.9	0	7	1	16	12	2399	\$ 7.00	\$ 8.61	98.77%
0.98	0.995	0	14	1	18	14	67	\$ 8.40	\$ 8.45	98.67%
0.98	0.995	2	7	2	53	35	120	\$ 7.00	\$ 7.21	96.01%
0.98	0.995	2	7	5	58	38	120	\$ 2.80	\$ 3.32	95.65%

0.98	0.995	2	7	10	67	44	120	\$ 1.40	\$ 2.46	94.95%
0.98	0.995	2	7	30	126	80	120	\$ 0.47	\$ 4.00	90.53%
0.6	0.9	0	7	1	209	124	2379	\$ 2.80	\$ 4.47	84.38%
0.8	0.9	0	14	1	370	234	1321	\$ 3.50	\$ 4.54	72.34%
0.98	0.995	2	14	1	550	293	66	\$ 7.00	\$ 7.24	58.83%
0.6	0.9	0	14	1	915	359	1290	\$ 1.40	\$ 2.50	31.52%
Community Prevalence: High										
Sensitivity	Specificity	Delay (days)	Frequency (days)	Pool Size	Cumulative Infections experienced (over 100 days)	Cumulative Infections Caught (over 100 days)	Cumulative False Positives (over 100 days)	Per person, per day cost without confirmatory testing (\$)	Per person, Per day cost with confirmatory testing (\$)	% Reduction in Cumulative Infections Experienced
0.98	0.995	0	3	5	38	34	262	\$ 7.92	\$ 8.90	97.28%
0.98	0.995	0	3	10	38	34	262	\$ 3.96	\$ 5.89	97.23%
0.98	0.995	0	3	30	41	36	262	\$ 1.32	\$ 6.81	97.03%
0.98	0.995	0	7	2	69	56	120	\$ 8.40	\$ 8.63	95.00%
0.98	0.995	0	7	5	71	57	120	\$ 3.36	\$ 3.94	94.87%
0.6	0.9	0	3	1	71	53	5241	\$ 6.60	\$ 10.13	94.86%
0.98	0.995	0	7	10	74	59	120	\$ 1.68	\$ 2.83	94.64%
0.98	0.995	2	3	5	82	60	262	\$ 6.60	\$ 7.66	94.06%
0.98	0.995	0	7	30	91	69	120	\$ 0.56	\$ 3.93	93.41%
0.98	0.995	2	3	30	92	66	262	\$ 1.10	\$ 7.11	93.33%
0.8	0.9	0	7	1	132	93	2388	\$ 7.00	\$ 8.65	90.48%

0.98	0.995	0	14	1	185	137	67	\$ 8.40	\$ 8.54	86.64%
0.98	0.995	2	7	2	251	160	119	\$ 7.00	\$ 7.37	81.84%
0.98	0.995	2	7	5	259	164	119	\$ 2.80	\$ 3.72	81.24%
0.98	0.995	2	7	10	274	172	119	\$ 1.40	\$ 3.23	80.21%
0.98	0.995	2	7	30	340	205	119	\$ 0.47	\$ 5.75	75.41%
0.6	0.9	0	7	1	452	254	2358	\$ 2.80	\$ 4.54	67.29%
0.8	0.9	0	14	1	619	336	1308	\$ 3.50	\$ 4.60	55.22%
0.98	0.995	2	14	1	669	346	66	\$ 7.00	\$ 7.27	51.60%
0.6	0.9	0	14	1	984	375	1287	\$ 1.40	\$ 2.51	28.82%

* Cost calculation assumes a test with a 98% sensitivity and 0-day delay in returning results costs \$120, a 98% sensitive test with a 2-day delay in results costs \$100, an 80% sensitive test costs \$50, and a 60% sensitive test costs \$20. All (true and false) positive tests are confirmed using a \$100 test. The distribution of positive tests among pooled samples is uniform as is consistent with the homogeneous mixing assumptions of the SIR model, and we assume everyone in a pool that is positive will undergo a confirmatory test.



Original Investigation | Public Health

Assessment of SARS-CoV-2 Screening Strategies to Permit the Safe Reopening of College Campuses in the United States

A. David Paltiel, PhD; Amy Zheng, BA; Rochelle P. Walensky, MD, MPH

Abstract

IMPORTANCE The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic poses an existential threat to many US residential colleges; either they open their doors to students in September or they risk serious financial consequences.

OBJECTIVE To define severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) screening performance standards that would permit the safe return of students to US residential college campuses for the fall 2020 semester.

DESIGN, SETTING, AND PARTICIPANTS This analytic modeling study included a hypothetical cohort of 4990 students without SARS-CoV-2 infection and 10 with undetected, asymptomatic SARS-CoV-2 infection at the start of the semester. The decision and cost-effectiveness analyses were linked to a compartmental epidemic model to evaluate symptom-based screening and tests of varying frequency (ie, every 1, 2, 3, and 7 days), sensitivity (ie, 70%-99%), specificity (ie, 98%-99.7%), and cost (ie, \$10/test-\$50/test). Reproductive numbers (R_t) were 1.5, 2.5, and 3.5, defining 3 epidemic scenarios, with additional infections imported via exogenous shocks. The model assumed a symptomatic case fatality risk of 0.05% and a 30% probability that infection would eventually lead to observable COVID-19–defining symptoms in the cohort. Model projections were for an 80-day, abbreviated fall 2020 semester. This study adhered to US government guidance for parameterization data.

MAIN OUTCOMES AND MEASURES Cumulative tests, infections, and costs; daily isolation dormitory census; incremental cost-effectiveness; and budget impact.

RESULTS At the start of the semester, the hypothetical cohort of 5000 students included 4990 (99.8%) with no SARS-CoV-2 infection and 10 (0.2%) with SARS-CoV-2 infection. Assuming an R_t of 2.5 and daily screening with 70% sensitivity, a test with 98% specificity yielded 162 cumulative student infections and a mean isolation dormitory daily census of 116, with 21 students (18%) with true-positive results. Screening every 2 days resulted in 243 cumulative infections and a mean daily isolation census of 76, with 28 students (37%) with true-positive results. Screening every 7 days resulted in 1840 cumulative infections and a mean daily isolation census of 121 students, with 108 students (90%) with true-positive results. Across all scenarios, test frequency was more strongly associated with cumulative infection than test sensitivity. This model did not identify symptom-based screening alone as sufficient to contain an outbreak under any of the scenarios we considered. Cost-effectiveness analysis selected screening with a test with 70% sensitivity every 2, 1, or 7 days as the preferred strategy for an R_t of 2.5, 3.5, or 1.5, respectively, implying screening costs of \$470, \$910, or \$120, respectively, per student per semester.

CONCLUSIONS AND RELEVANCE In this analytic modeling study, screening every 2 days using a rapid, inexpensive, and even poorly sensitive (>70%) test, coupled with strict behavioral

(continued)

Key Points

Question What screening and isolation programs for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) will keep students at US residential colleges safe and permit the reopening of campuses?

Findings This analytic modeling study of a hypothetical cohort of 4990 college-age students without SARS-CoV-2 infection and 10 students with undetected asymptomatic cases of SARS-CoV-2 infection suggested that frequent screening (every 2 days) of all students with a low-sensitivity, high-specificity test might be required to control outbreaks with manageable isolation dormitory utilization at a justifiable cost.

Meaning In this modeling study, symptom-based screening alone was not sufficient to contain an outbreak, and the safe reopening of campuses in fall 2020 may require screening every 2 days, uncompromising vigilance, and continuous attention to good prevention practices.

+ [Invited Commentary](#)

+ [Supplemental content](#)

Author affiliations and article information are listed at the end of this article.

Open Access. This is an open access article distributed under the terms of the CC-BY License.

Abstract (continued)

interventions to keep R_t less than 2.5, is estimated to maintain a controllable number of COVID-19 infections and permit the safe return of students to campus.

JAMA Network Open. 2020;3(7):e2016818.

Corrected on August 18, 2020. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.16818

Introduction

Universities across the United States are struggling with the question of whether and how to reopen for the fall 2020 semester.^{1,2} Residential colleges, with communal living arrangements, shared dining spaces, intimate classrooms, and a population of young adults anxious to socialize, pose a particular challenge. In the absence of an effective vaccine, a proven therapy, and/or sufficient herd immunity, the best hope for reopening campuses in the fall is likely to be a robust strategy of behavior-based prevention combined with regular monitoring to rapidly detect, isolate, and contain new severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infections when they occur.³

Evidence on the available monitoring technologies and their performance is limited and rapidly evolving. The US Food and Drug Administration is currently evaluating more than 100 candidate tests that screen for the presence of SARS-CoV-2 infection or antibodies.⁴ There are many uncertainties, including the logistics of deployment; the ease and comfort of sample collection; and the accuracy, scalability, turnaround time, and cost of test kits. After a new coronavirus disease 2019 (COVID-19) case is detected, further questions emerge regarding how to conduct subsequent tracing; how to isolate detected cases in the context of congregate housing arrangements; and how to protect other at-risk populations, including faculty, staff, and members of the surrounding community.⁵ These uncertainties underscore the pressing need for both a generalized assessment of population-wide screening for SARS-CoV-2 and a comprehensive plan for reopening universities.

For many US colleges, COVID-19 poses an existential threat: either they open their doors to students in September or they suffer severe financial consequences.⁶ University administrators struggling with this dilemma must nevertheless keep in mind that their first priority is the safety of the students in their care. We offer specific recommendations on the design of a virologic monitoring program that will keep students safe at an affordable cost. Our specific research objectives were, first, to define the minimum performance attributes of a SARS-CoV-2 monitoring program (eg, frequency, sensitivity, specificity, and cost) that could ensure that college students are kept safe; second, to understand how those minimum performance standards might change under varying assumptions about the severity of the epidemic and the success of behavioral and social distancing interventions; third, to suggest what isolation and treatment capacity would need to be in place; and fourth, to forecast what testing might cost and to help decision-makers understand that information to address the question of a screening and monitoring program's value.

Methods

Study Design

We adapted a simple compartmental epidemic model to capture the essential features of the situation facing university decision-makers that included the epidemiology of SARS-CoV-2; the natural history of COVID-19 illness; and regular mass screening to detect, isolate, and contain the presence of SARS-CoV-2 in a residential college setting (eFigure 1 in the [Supplement](#)). A spreadsheet implementation of the model permitted us to vary critical epidemic parameters and to examine how different test performance attributes (ie, frequency, sensitivity, specificity, and cost) would translate to outcomes. Model input data ([Table 1](#))⁷⁻¹⁹ were obtained from a variety of published sources, adhering whenever possible to the data guidance for modelers recently issued by the US Centers for

Disease Control and Prevention and the Office of the Assistant Secretary for Preparedness and Response. We defined 3 increasingly pessimistic epidemic scenarios and estimated both cumulative outcomes (eg, tests administered, number of true-positive and false-positive results, number of new infections, and person-days requiring isolation) and economic performance (eg, cost, incremental cost-effectiveness, and budget impact) during an abbreviated 80-day semester, running from Labor Day through Thanksgiving.² We assumed a medium-sized college setting with a target population of 5000 students, all of them younger than 30 years and nonimmune, living in a congregate setting.^{19,20} We seeded this population with 10 undetected, asymptomatic cases of SARS-CoV-2 infection. A publicly accessible version of the model implementation is available [online](#).

This analysis adheres to the Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards (CHEERS) reporting guideline, where applicable. Because this study used only aggregate, published

Table 1. Model Input Parameters and Scenarios

Model parameter	Input	References
Compartments in initial population, No.		
Noninfected, susceptible	4990	US News and World Report, ¹⁹ 2020
Infected, asymptomatic	10	Assumption
All other compartments	0	Assumption
Time horizon, d	80	Hubler, ² 2020
Disease dynamics		
Mean incubation time, θ	3 d	He et al, ⁸ 2020
Time to recovery, $1/\rho$	14 d	Lauer et al, ¹⁰ 2020; CDC, ¹¹ 2020
Time to false-positive return, $1/\mu$	1 d	Assumption
Probability of symptoms given infection, %	30	Day, ¹² 2020; Yang et al, ¹³ 2020; Ing et al, ¹⁴ 2020
Symptomatic case fatality ratio, %	0.05	CDC, ⁷ 2020
Transmission rate, β	Dependent on R_t	NA
Rate of symptom development, σ	Dependent on R_t	NA
Scenarios		
Effective R_t		
Best	1.5	CDC, ⁷ 2020; Pitzer et al, ¹⁵ 2020; Li et al, ¹⁶ 2020
Base	2.5	
Worst	3.5	
Test specificity, ie, true-negative rate, %		
Best	99.7	Lieberman et al ¹⁷ 2020; Zhen et al, ¹⁸ 2020
Base	98.0	
Worst	98.0	
Exogenous infections per wk, No.		
Best	5	Assumption
Base	10	
Worst	25	
Test characteristics		
Sensitivity, ie, true-positive rate, %		
Test I	70	Assumption
Test II	80	
Test III	90	
Cost per test, \$		
Test I	10	Assumption
Test II	25	
Test III	50	
Time to test result return, h	8	Assumption
Confirmatory test		
Sensitivity, %	100	Assumption
Cost, \$	100	Assumption

Abbreviations: CDC, US Centers for Disease Control and Prevention; NA, not applicable; R_t , reproduction number.

data, the institutional review boards of both the Massachusetts General Hospital and the Yale School of Medicine determined that this research did not involve human participants and did not require their review or approval.

Compartmental Model

To the basic susceptible-exposed-infected-removed compartmental modeling framework, we added the following: the availability of regular, repeated screening with a test of imperfect sensitivity and specificity; the creation of a new compartment for uninfected persons receiving a false-positive test result; separation of the infected compartment to distinguish between asymptomatic patients with undetected infection, asymptomatic patients with detected infection (ie, true-positives), and observed symptomatic patients; and the importation of additional new infections via exogenous shocks (eg, infections transmitted to students by university employees or members of the surrounding community or during superspreader events, such as parties).

We defined 3 epidemic severity scenarios: a base case with a reproduction number (R_t) of 2.5, test specificity of 98%, and the exogenous introduction of 10 new, undetected infections to the susceptible population each week; a worst case with an R_t of 3.5, test specificity of 98%, and 25 exogenous new infections every week; and a best case with an R_t of 1.5, test specificity of 99.7%, and 5 exogenous new infections each week.

Isolation

We assumed that after a lag of 8 hours, individuals receiving a positive test result (true or false) and those exhibiting COVID-19 symptoms would be moved from the general population to an isolation dormitory, where their infection would be confirmed, where they would receive supportive care, and from which no further transmissions would occur. The lag reflected both test turnaround delays and the time required to locate and isolate identified cases. Students with confirmed (ie, true-positive) results would remain in the isolation dormitory a mean of 14 days to ensure they were not infectious before proceeding to a recovered or immune state.^{10,11} Students with false-positive results would remain isolated for 24 hours, reflecting our assumption that a highly specific confirmatory test could overturn the original diagnosis, permitting them to return to the campus population.

We assumed a mean time from exposure to both infectiousness and screening detectability of 3 days, a symptomatic case fatality risk of 0.05%, and a 30% probability that infection would eventually lead to observable COVID-19–defining symptoms in this young cohort.^{7-9,12-14}

Screening

We sought to evaluate both existing SARS-CoV-2 detection methods and newer technologies that could plausibly be available in the near future. Accordingly, we considered a range of different test sensitivities (ie, 70%-99%), specificities (ie, 98%-99.7%),^{17,18} and per-test costs (ie, \$10-\$50). For each combination of these test characteristics, we considered both symptom-based screening and routine testing every 1, 2, 3, and 7 days. We assumed that a confirmatory test with 100% specificity could distinguish false-positive from true-positive results at a cost of \$100.

Cost-effectiveness

Next, we estimated incremental cost-effectiveness ratios, denominated in screening costs per infection averted. This measure of return on investment in screening was compared with a crude benchmark of value estimated using the following 4 terms: (1) COVID-related mortality (0.05% in persons of college age; 0.4% overall)⁷; (2) survival loss of 60 years per college-age fatality; 20 years overall²¹; (3) societal willingness-to-pay (WTP) threshold of \$100 000 per year of life gained²²; and (4) $R_t + 1$, assuming that each infection averted prevents half the R_t secondary infections among college-age students and half among other adult members of the campus community.^{7,15,16} This method yielded a maximum WTP to avert 1 infection of \$5500 in the best case, \$8500 in the base case, and \$11 600 in the worst case.

Cost-effectiveness analysis identified a preferred screening strategy from among 13 possibilities—3 test sensitivities (70%, 80%, and 90%) and 4 frequencies (1, 2, 3, and 7 times per week) in addition to symptom-based screening—under each epidemic scenario (base, worst, and best cases) already described. We also considered the more restricted case, in which the only available test cost \$25 and had a sensitivity of 80%. Finally, to help decision-makers understand the fiscal consequences of pursuing these preferred strategies, we conducted a budget impact assessment, reporting the cumulative costs for the semester on a per-student basis.

Statistical Analysis

The model was implemented as a spreadsheet. All analyses were conducted in Microsoft Excel. Because no statistical tests were run, no prespecified level of statistical significance was set.

Results

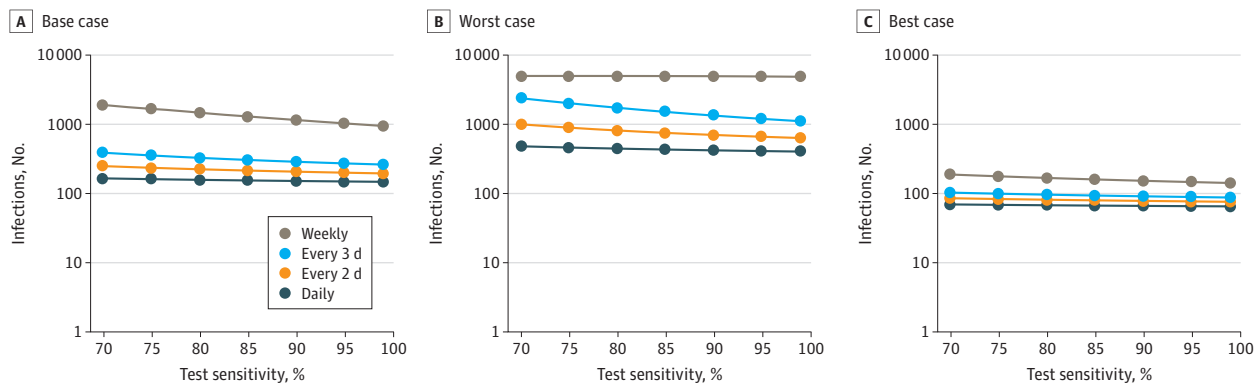
Test Frequency and Sensitivity

At the start of the semester, the hypothetical cohort of 5000 students included 4990 (99.8%) with no SARS-CoV-2 infection and 10 (0.2%) with SARS-CoV-2 infection. During an 80-day semester in the base case (ie, R_t of 2.5 and 10 exogenous infections each week), screening every 1, 2, 3, or 7 days with a 70% sensitive, 98% specific test resulted in 162, 243, 379, and 1840 cumulative infections, respectively. Symptom-based screening yielded 4970 infections. Raising the sensitivity of the test from 70% to 90% reduced total infections (eg, from 162 to 149 for daily screening and from 1840 to 1118 for weekly screening). **Figure 1** shows cumulative infections as a function of test sensitivity and test frequency for the 3 epidemic severity scenarios.

Isolation Dormitory Occupancy

In the base case, daily screening with a 70% sensitive, 98% specific test resulted in a mean isolation dormitory census of 116 occupants, of whom 21 (18%) had true-positive results (**Figure 2A**). With screening every 2 days, mean daily census was reduced to 76, as fewer tests were performed and fewer false-positive results were obtained; however, less frequent testing was also associated with greater transmission of infection and a higher mean proportion of students with true-positive results in isolation (28 students [37%]) (**Figure 2B**). Weekly and symptom-based screening were associated with large increases in the infected occupancy of the isolation dormitory (**Figure 2C** and **Figure 2D**). For example, screening every 7 days resulted in a mean daily isolation census of 121 students, with

Figure 1. Cumulative Infections as a Function of Test Sensitivity and Frequency



During an 80-day horizon, for the base case (R_t of 2.5, test specificity of 98%, and 10 exogenous infections per week) (A), worst case (R_t of 3.5, test specificity of 98%, and 25 exogenous infections per week) (B), and best case (R_t of 1.5, test specificity of 99.7%, and 5 exogenous infections per week) (C), these panels report cumulative infections for tests with sensitivity ranging from 70% to 99%.

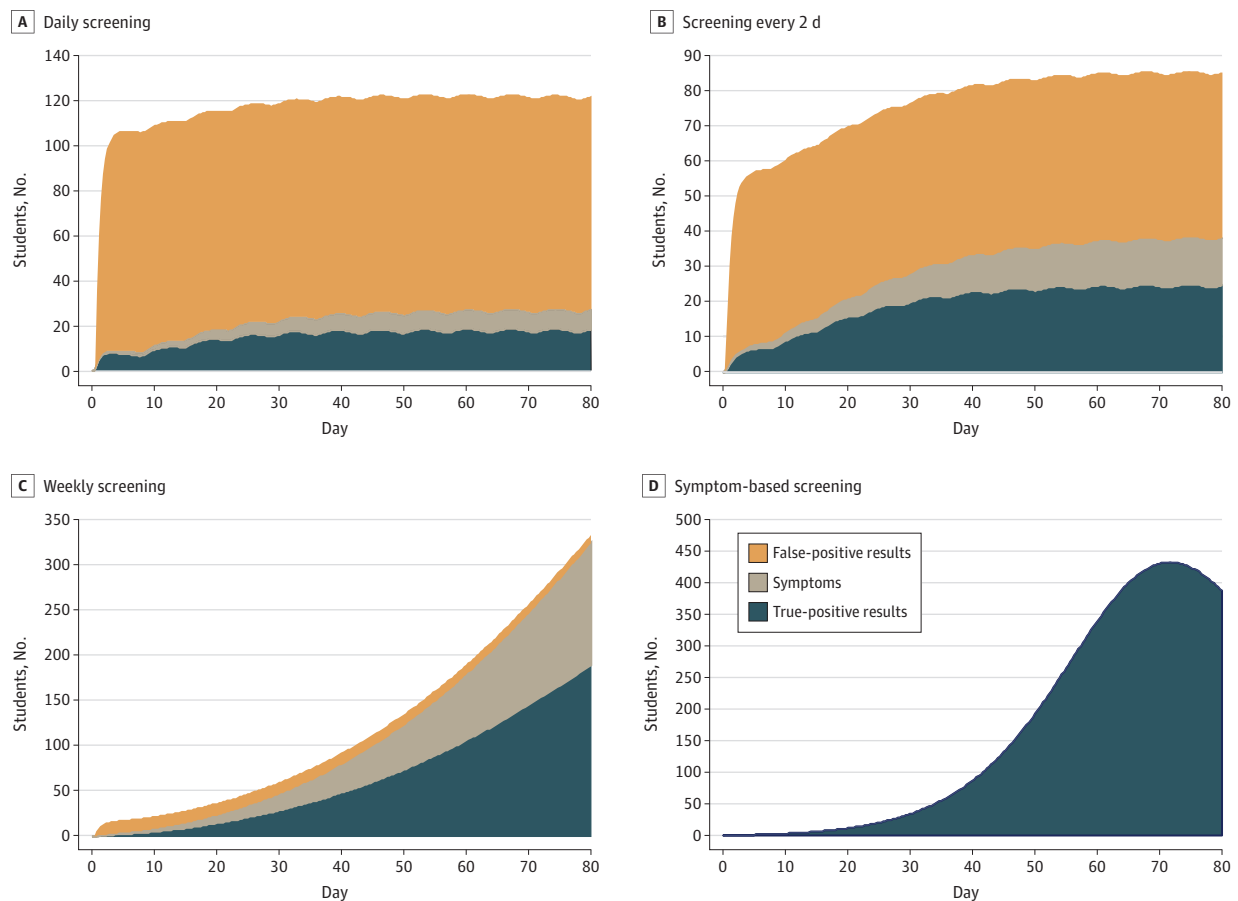
108 (90%) with true-positive results. Sensitivity analysis revealed that the trends evident in Figure 2 extended beyond the 80-day planning horizon (data not shown). Varying the initial number of asymptomatic infections between 0 and 100 did not materially change our findings.

The number of students with false-positive results and the isolation capacity required to accommodate them were reduced in the presence of a more specific test. For example, with daily screening in the base case, increasing the test specificity from 98% to 99.7% was associated with a decrease in the mean daily census of students with false-positive results in isolation from 95 to 15.

Under worst-case assumptions (ie, R_t of 3.5 with 25 exogenous infections every week), daily screening yielded mean isolation dormitory census of 152 students, of whom 60 (39%) had true infections (eFigure 2A in the Supplement). Screening every 2 days produced similar census (151) but a higher proportion (106 [70%]) of true infections (eFigure 2B in the Supplement). With weekly screening or symptom-based screening, nearly the entire student population would be infected before the conclusion of the 80-day semester (eFigure 2C and eFigure 2D in the Supplement).

In the best case (ie, R_t of 1.5 with 5 exogenous shocks each week and a test with 99.7% specificity), mean occupancy of the isolation dormitory was 18 (16 with infection; 2 with false-positive results) with weekly screening and 24 (all true infections) with symptom-based screening (eFigure 3 in the Supplement).

Figure 2. Projecting the Required Size of the Isolation Dormitory



An isolation dormitory needs to be large enough to house students with false-positive results, students with symptoms, and students without symptoms who have received true-positive results. During the 80-day horizon, these panels depict the number of students in the isolation dormitory using a 70% sensitive, 98% specific test under the base case scenario (ie, R_t of 2.5). The effect of exogenous shocks (10 per week) is visible

in the scalloped borders with daily screening and screening every 2 days (A, B); this is less evident with less frequent testing and symptom-based screening (C, D), in which the number of true-positive cases masks the comparatively small effect of exogenous shocks.

Cost-effectiveness and Budget Impact Assessment

In the base case, screening with a less expensive, less sensitive test dominated screening with more expensive, more accurate tests (ie, it cost less and averted greater numbers of infection) for all plausible WTP values. At the benchmark maximum WTP (\$8500 per infection averted), screening every 2 days with a 70% sensitive test was the preferred strategy. For WTP exceeding \$28 400 per infection averted, daily screening with this same test was optimal (Table 2). Under worst-case assumptions, daily screening strategies were the only undominated choices for WTP values

Table 2. Results of the Incremental Cost-effectiveness Analysis in the Base-Case, Worst-Case, and Best-Case Scenarios

Frequency	Test sensitivity, %	Cost, \$	Total infections	Incremental cost-effectiveness ratio, \$/infection averted ^a
Base-case scenario^b				
Symptom-based screening	NA	NA	4970	NA
Weekly	70	696 000	1840	200
Weekly	80	1 490 700	1422	Dominated
Every 3 d	70	1 564 500	379	600
Every 2 d	70	2 340 600	243	5700
Weekly	90	2 837 500	1118	Dominated
Every 3 d	80	3 501 800	319	Dominated
Daily	70	4 642 700	162	28 400
Every 2 d	80	5 254 900	219	Dominated
Every 3 d	90	6 740 400	280	Dominated
Every 2 d	90	10 118 700	202	Dominated
Daily	80	10 440 000	154	752 600
Daily	90	20 106 900	149	1 692 900
Worst-case scenario^c				
Symptom-based screening	NA	NA	4991	NA
Weekly	70	673 600	4991	Dominated
Weekly	80	1 274 200	4988	Dominated
Every 3 d	70	1 509 300	2373	Dominated
Every 2 d	70	2 266 400	998	600
Weekly	90	2 310 000	4951	Dominated
Every 3 d	80	3 292 800	1731	Dominated
Daily	70	4 543 900	481	4400
Every 2 d	80	5 063 200	814	Dominated
Every 3 d	90	6 347 900	1335	Dominated
Every 2 d	90	9 764 100	701	Dominated
Daily	80	10 207 500	445	159 700
Daily	90	19 666 200	420	377 500
Best-case scenario^d				
Symptom-based screening	NA	NA	1067	NA
Weekly	70	587 800	188	700
Every 3 d	70	1 364 600	103	9100
Weekly	80	1 432 700	168	Dominated
Every 2 d	70	2 044 500	85	38 800
Weekly	90	2 842 200	152	Dominated
Every 3 d	80	3 343 100	96	Dominated
Daily	70	4 080 900	69	128 100
Every 2 d	80	5 013 900	81	Dominated
Every 3 d	90	6 642 100	91	Dominated
Every 2 d	90	9 964 200	78	Dominated
Daily	80	10 016 800	68	3 156 700
Daily	90	19 911 200	66	6 833 800

Abbreviations: NA, not applicable.

^a Strategies that cost more and result in more infections than some combination of other strategies are labeled *dominated*.

^b Base-case scenario had a reproduction number of 2.5, 10 exogenous shock infections each week, and a maximum willingness-to-pay threshold of \$8500 per infection averted.

^c Worst-case scenario had a reproduction number of 3.5, 25 exogenous shock infections each week, and a maximum willingness-to-pay threshold of \$11 600 per infection averted.

^d Best-case scenario had a reproduction number of 1.5, 5 exogenous shock infections each week, a test with 99.7% specificity, and a maximum willingness-to-pay threshold of \$5500 per infection averted.

exceeding \$4400 per infection averted; at the benchmark maximum WTP (\$11 600 per infection averted), daily screening with the least sensitive (ie, 70%) test was the preferred choice. Under best-case assumptions (with a WTP maximum of \$5500 per infection averted), weekly screening with a 70% sensitive test was optimal. If the only available test cost \$25 and had a sensitivity of 80%, the optimal frequency of screening would be every 7, 3, and 2 days in the best, base, and worst case scenarios, respectively (eAppendix and eTable 1 in the Supplement). If the probability of progressing from infection to symptoms rose from 30% to 65%, screening every day would be optimal in the base case scenario (eTable 2 in the Supplement). During the 80-day semester, the per-student costs of implementing the preferred screening strategy were \$120, \$470, and \$910 in the best, base, and worst case scenarios, respectively (Table 3).

Discussion

The safe return of students to residential colleges demands an effective SARS-CoV-2 monitoring strategy. Results from this modelling study suggest that a highly specific screening test that can easily be administered to each student every 1 to 7 days—and that reports results quickly enough to permit newly detected cases to be isolated within hours—would be required to blunt the further transmission of infection and to control outbreaks at a justifiable cost. We identified no circumstance in this modelling study under which symptom-based screening alone would be sufficient to contain an outbreak.

Of the many uncertain variables driving our assessment of the required frequency of screening, we highlight R_t . This uncertain measure of the transmission potential of infection will depend in part on factors that are within the control of students and university administrators. Strict adherence to handwashing, mandated indoor masking, elimination of buffet dining, limited bathroom sharing with frequent cleaning, dedensifying campuses and classrooms, and other best practices could reduce R_t to best-case levels, rendering containment possible with weekly testing. However, any relaxation of these measures in the residential college setting could easily increase R_t to worst-case levels, requiring daily screening. All members of the university community must understand the fragility of the situation and the ease with which inattention to behavior may propagate infections and precipitate the need once again to shut down campus.

Much depends on the judicious management of positive test results, both true and false. Rapid detection, confirmation, isolation, and treatment of true-positive cases is, of course, essential. We found that frequent screening with a test of modest sensitivity and a turnaround time of 8 hours would be required for this purpose. The greater difficulty lies in managing the overwhelming number of false-positives that will inevitably result from repeated screening for low-prevalence conditions. False-positive results threaten to overwhelm isolation housing capacity, a danger whose gravity increases with screening frequency. The specificity of the initial test will matter far more than its sensitivity. Many current virologic tests report a 99.8% to 100% specificity in the context of use to date for symptomatic testing²³; we examined a value of 99.7% in the best case but used a lower value of 98% in the base-case and worst-case scenarios, given that most virologic tests have yet to be used for the kind of large-scale surveillance described in this model.

Even with a 98% specific screening test, false-positive results will present a challenge. Until a confirmatory test result is obtained, anyone receiving a positive test result will be presumed to be

Table 3. Per-Student Costs for Optimal Policies During an 80-Day Horizon Under Base-Case, Worst-Case, and Best-Case Scenarios

Scenario	Optimal policy	Cost per student, \$
Base case, ie, R_t of 2.5	Screening every 2 d, 70% sensitivity	470
Worst case, ie, R_t of 3.5	Daily screening, 70% sensitivity	910
Best case, ie, R_t of 1.5	Weekly screening, 70% sensitivity	120

Abbreviation: R_t , reproduction number.

infectious and need to be separated from other students. Setting aside the logistic challenges and financial costs, administrators must anticipate the anxiety such separations may provoke among both students and their families. Excessive numbers of false-positive results may fuel panic and undermine confidence in the reliability of the monitoring program. It may be possible to work with test manufacturers to tune test kits under development for use in this setting, sacrificing some small measure of sensitivity in favor of higher specificity.

Obtaining an adequate supply of testing equipment will be a challenge. On a college campus with 5000 enrollees, screening students alone every 2 days will require more than 195 000 test kits during the abbreviated semester. Our analysis assumed per-test costs (including equipment and associated personnel costs) ranging from \$10 to \$50. Lower-cost, self-administered testing modalities may soon be available and could make screening more affordable. Pooling could also facilitate more efficient, higher-volume screening.²⁴ However, pooling introduces its own logistic challenges and could increase the time to definitively identifying and isolating a positive case, resulting in further transmission and provoking anxiety among the many uninfected students notified that they are among the members of an initially positive pool.

We have tried to help decision-makers make sense of the value question by conducting a cost-effectiveness analysis and by comparing our findings with a rough estimate of the societal WTP per infection averted.²⁵ While we have adhered to the broad outlines of recommended practice for the conduct of economic evaluations,²⁵ we urge readers to interpret our results with caution. Most of our assumptions are conservative, ie, they understate the value of more frequent testing. For example, we ignored the clinical harms and attributable costs of COVID-19-related morbidity and treatment. We also ignored the value of infections averted beyond the student population. However, a few assumptions (eg, our failure to account for the economic and quality-of-life effects of false-positive results) may pull in the direction of less testing.

Reopening college campuses imposes risks that extend beyond students to the faculty who teach them, the many university employees (administrative and facilities staff) who come into close daily contact with them, and the countless other members of the surrounding community with whom students come into contact. University presidents have a duty to consider the downstream effect of their reopening decisions on these constituencies. However, their first responsibility is to the safety of the students in their care. While we certainly do not intend to minimize the broader effects of the reopening decision, we have quite deliberately excluded from consideration any transmissions exported off campus.

Limitations

The simple model underlying this analysis has notable limitations. We assumed homogenous mixing without age-dependent transmission. We did not explicitly include the effect of screening on faculty and staff, although these and other nonstudent members of the college community include a higher proportion of older, more medically vulnerable individuals. We assumed that no students arrive on campus with immunity to COVID-19. We excluded the effects of contact tracing. Given its implementation challenges, this is a noteworthy omission. However, our results suggest that with frequent enough screening, contact tracing would not be necessary for epidemic control. While this analysis offers guidance on the frequency of screening, it does not speak to the logistic challenges of deploying testing strategies on large college campuses. Such challenges include the acquisition of supplies; the orchestration of screening at scale; the monitoring of adherence; the development of a strategy for rapid result return, contact, and isolation; and the availability and maintenance of an isolation dormitory with all single rooms and bathrooms.

Conclusions

We believe that there is a safe way for students to return to college in fall 2020. In this study, screening every 2 days using a rapid, inexpensive, and even poorly sensitive (>70%) test, coupled

with strict interventions that keep R_t less than 2.5, was estimated to yield a modest number of containable infections and to be cost-effective. This sets a very high bar—logistically, financially, and behaviorally—that may be beyond the reach of many university administrators and the students in their care.

ARTICLE INFORMATION

Accepted for Publication: July 2, 2020.

Published: July 31, 2020. doi:[10.1001/jamanetworkopen.2020.16818](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.16818)

Correction: This article was corrected on August 18, 2020, to fix a broken link in the eAppendix of the [Supplement](#).

Open Access: This is an open access article distributed under the terms of the [CC-BY License](#). © 2020 Paltiel AD et al. *JAMA Network Open*.

Corresponding Author: A. David Paltiel, PhD, Public Health Modeling Unit, Yale School of Public Health, 60 College St, New Haven, CT 06510 (david.paltiel@yale.edu).

Author Affiliations: Public Health Modeling Unit, Yale School of Public Health, New Haven, Connecticut (Paltiel); Harvard Medical School, Boston, Massachusetts (Zheng, Walensky); Medical Practice Evaluation Center, Division of Infectious Diseases, Massachusetts General Hospital, Boston (Walensky).

Author Contributions: Drs Paltiel and Walensky had full access to all of the data in the study and take responsibility for the integrity of the data and the accuracy of the data analysis.

Concept and design: All authors.

Acquisition, analysis, or interpretation of data: All authors.

Drafting of the manuscript: All authors.

Critical revision of the manuscript for important intellectual content: Paltiel, Walensky.

Statistical analysis: Walensky.

Obtained funding: Paltiel, Walensky.

Administrative, technical, or material support: All authors.

Supervision: Paltiel.

Conflict of Interest Disclosures: None reported.

Funding/Support: Dr Paltiel was supported by grant R37 DA015612 from the National Institute on Drug Abuse of the National Institutes of Health. Dr Walensky was supported by the Steve and Deborah Gorlin Research Scholars Award from the Massachusetts General Hospital Executive Committee on Research.

Role of the Funder/Sponsor: The funders had no role in the design and conduct of the study; collection, management, analysis, and interpretation of the data; preparation, review, or approval of the manuscript; and decision to submit the manuscript for publication.

Disclaimer: The content is solely the responsibility of the authors and does not necessarily represent the official views of the National Institutes of Health or the Massachusetts General Hospital Executive Committee on Research.

Additional Contributions: The authors thank the Massachusetts university presidents of the COVID-19 Testing Group for motivating this research. Helpful conversations with these and other college presidents shaped and refined our analysis, strategies, and assumptions.

REFERENCES

1. Centers for Disease Control and Prevention. Interim guidance for administrators of US institutions of higher education: plan, prepare, and respond to coronavirus disease 2019. Updated March 18, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-ihe-response.html>
2. Hubler, S. College calendars in the pandemic: no fall break and home by Thanksgiving. *New York Times*. Published May 19, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.nytimes.com/2020/05/19/us/coronavirus-college-fall-semester.html>
3. National Governors Association. Memorandum: reopening institutions of higher education. Published May 27, 2020. Accessed July 7, 2020. <http://www.nga.org/wp-content/uploads/2020/05/State-Higher-Ed-reopening-final.pdf>

4. US Food and Drug Administration. Coronavirus (COVID-19) update: daily roundup May 21, 2020. Published May 21, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/coronavirus-covid-19-update-daily-roundup-may-21-2020>
5. Walensky RP, Del Rio C. From mitigation to containment of the COVID-19 pandemic: putting the SARS-CoV-2 genie back in the bottle. *JAMA*. 2020;323(19):1889-1890. doi:10.1001/jama.2020.6572
6. McLaughlin, K. The coronavirus could force smaller liberal arts and state colleges to close forever. *Insider*. Published April 26, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.insider.com/smaller-colleges-may-never-reopen-because-of-the-coronavirus-2020-4>
7. US Centers for Disease Control and Prevention. COVID-19 pandemic planning scenarios. Updated May 20, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html>
8. He X, Lau EHY, Wu P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat Med*. 2020;26(5):672-675. doi:10.1038/s41591-020-0869-5
9. Davies NG, Klepac P, Liu Y, Prem K, Jit M, Eggo RM; CMMID COVID-19 working group. Age-dependent effects in the transmission and control of COVID-19 epidemics. *Nat Med*. 2020. doi:10.1038/s41591-020-0962-9
10. Lauer SA, Grantz KH, Bi Q, et al. The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application. *Ann Intern Med*. 2020;172(9):577-582. doi:10.7326/M20-0504
11. US Centers for Disease Control and Prevention. Quarantine if you might be sick. Updated July 3, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/if-you-are-sick/quarantine-isolation.html>
12. Day M. COVID-19: four-fifths of cases are asymptomatic, China figures indicate. *BMJ*. 2020;369:m1375. doi:10.1136/bmj.m1375
13. Yang R, Gui X, Xiong Y. Comparison of clinical characteristics of patients with asymptomatic vs symptomatic coronavirus disease 2019 in Wuhan, China. *JAMA Netw Open*. 2020;3(5):e2010182. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.10182
14. Ing AJ, Cocks C, Green JP. COVID-19: in the footsteps of Ernest Shackleton. *Thorax*. Published online May 27, 2020;thoraxjnl-2020-215091. doi:10.1136/thoraxjnl-2020-215091
15. Pitzer VE, Chitwood M, Havumaki J, et al. The impact of changes in diagnostic testing practices on estimates of COVID-19 transmission in the United States. medRxiv. Preprint posted online April 24, 2020. doi:10.1101/2020.04.20.20073338
16. Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med*. 2020;382(13):1199-1207. doi:10.1056/NEJMoa2001316
17. Lieberman JA, Pepper G, Naccache SN, Huang ML, Jerome KR, Greninger AL. Comparison of commercially available and laboratory developed assays for in vitro detection of SARS-CoV-2 in clinical laboratories. *J Clin Microbiol*. 2020;JCM.00821-20. doi:10.1128/JCM.00821-20
18. Zhen W, Manji R, Smith E, Berry GJ. Comparison of four molecular in vitro diagnostic assays for the detection of SARS-CoV-2 in nasopharyngeal specimens. *J Clin Microbiol*. 2020;JCM.00743-20. doi:10.1128/JCM.00743-20
19. US News and World Report. 10 colleges with the most undergraduates. Published October 1, 2019. Accessed July 7, 2020. <https://www.usnews.com/education/best-colleges/the-short-list-college/articles/colleges-with-the-most-undergraduates>
20. National Center for Education Statistics. Characteristics of postsecondary students. Updated April 2020. Accessed July 7, 2020. https://nces.ed.gov/programs/coe/indicator_csb.asp
21. US Department of Health and Human Services. United States Life Tables, 2016. Published May 7, 2019. Accessed July 7, 2020. https://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr68/nvsr68_04-508.pdf
22. Neumann PJ, Cohen JT, Weinstein MC. Updating cost-effectiveness—the curious resilience of the \$50,000-per-QALY threshold. *N Engl J Med*. 2014;371(9):796-797. doi:10.1056/NEJMp1405158
23. US Food and Drug Administration. EUAs for coronavirus disease 2019 (COVID-19). Updated July 1, 2020. Accessed July 7, 2020. <https://www.fda.gov/medical-devices/emergency-situations-medical-devices/emergency-use-authorizations#coronavirus2019>
24. Hogan CA, Sahoo MK, Pinsky BA. Sample pooling as a strategy to detect community transmission of SARS-CoV-2. *JAMA*. 2020;323(19):1967-1969. doi:10.1001/jama.2020.5445
25. Sanders GD, Neumann PJ, Basu A, et al. Recommendations for conduct, methodological practices, and reporting of cost-effectiveness analyses: second panel on cost-effectiveness in health and medicine. *JAMA*. 2016;316(10):1093-1103. doi:10.1001/jama.2016.12195

SUPPLEMENT.**eAppendix.** Model Description**eTable 1.** Results of the Incremental Cost-effectiveness Analysis in the Base-Case, Worst-Case, and Best-Case Scenarios With a \$25 Test at 80% Sensitivity**eTable 2.** Results of the Incremental Cost-effectiveness Analysis in the Base-Case Scenario With Probability of Symptoms at 65%**eFigure 1.** Model Schematic and Input Parameters**eFigure 2.** Expected Daily Occupancy of the Isolation Dormitory Under Worst-Case Assumptions**eFigure 3.** Expected Daily Occupancy of Isolation Dormitory Under Best-Case Assumptions

Objectives for COVID-19 testing in school settings – first update

21 August 2020

Objectives for testing in school settings

- To ensure early identification of cases among students and staff in order to conduct contact tracing and initiate prevention and control measures, thereby reducing further transmission.
- To identify infection in students and staff at high risk of developing severe disease due to underlying conditions.
- To support investigations and studies concerning the role of children in the transmission of COVID-19.

Scope of this document

This document provides an overview of major aspects of testing, contact tracing, contact identification and contact follow-up in school settings within the EU/EEA countries and the United Kingdom (UK).

Target audience

The target audience for this technical report is public health experts working in school settings and public health authorities in EU/EEA countries and the UK.

Glossary

The school structures within the EU/EEA Member States and UK are heterogeneous, with children entering and moving through educational establishments at different ages [1]. Given this variation, it is not possible to define the age of attendance in EU education establishments with full consistency. Therefore, for the purposes of this document, the following classification has been used:

Schools	The generic term used to define all educational establishments within the scope of the document.
Staff	Includes teachers, administrators and management, school nurses, janitors, cleaning and kitchen personnel and other adults working in childcare and educational settings.

Background

School settings bring children and young adults of different age groups together at close quarters. They share teaching rooms, and sports and other community facilities. It has been shown that children have a higher number of social contacts than adults, which is also related to school settings [2]. Similarly, school staff have a large number of contacts with pupils as well as other staff. These contacts may result in transmission of infectious diseases. Many countries have closed schools and kindergartens to reduce transmission and mitigate the impact of the COVID-19 pandemic. However, even if there is increasing evidence of the low impact of COVID-19 in children

[3], the overall role that children play in transmission and spread of SARS-CoV-2 remains unclear [4]. Furthermore, a recent study suggests that the viral load in children under five years with mild to moderate COVID-19 symptoms is higher than in older children and adults [5]. Although schools and educational settings do not seem to play an important role in transmission of COVID-19 in general, virus transmission by asymptomatic and pre-symptomatic children is possible. Therefore, a well-implemented testing strategy in school settings might play an important role in preventing virus transmission within the school setting and to the community.

Objective of testing in schools

The current document proposes guidelines for testing for SARS-CoV-2 in schools based on the ECDC surveillance strategy objectives for COVID-19 [4,6,7] and ECDC's publication '[COVID-19 in children and the role of school settings in COVID-19 transmission](#)' [4]. The following objectives could be considered relevant for testing in school settings:

- to ensure early identification of cases among students and staff in order to conduct contact tracing and initiate prevention and control measures, thereby reducing further transmission;
- to identify infection in students and staff at high risk of developing severe disease due to underlying conditions;
- to support investigations and studies concerning the role of children in the transmission of COVID-19.

A protocol for the investigation of COVID-19 transmission in schools and other educational institutions is available as part of the World Health Organization's Unity studies [8].

Testing guidance

All students and staff showing symptoms compatible with COVID-19 should be tested for SARS-CoV-2 in accordance with ECDC's testing strategy [6] and current laboratory testing guidance [9]. The symptoms include acute respiratory tract infection (sudden onset of at least one of the following: cough, fever, shortness of breath) or sudden onset of anosmia, ageusia or dysgeusia.

Contact tracing should be initiated promptly following identification of a confirmed case and should include contacts in the school (students, teachers and other staff), household and other settings as relevant, in accordance with ECDC or national guidance [10].

Asymptomatic persons identified as high-risk exposure (close) contacts of cases (Table 1) during contact tracing could be considered for SARS-CoV-2 testing. This allows for prompt isolation of new potential cases and early contact tracing of the contacts of these new cases.

If testing capacity is limited, the following groups should be prioritised for testing:

- symptomatic students and staff that are at high risk of developing severe disease due to age or pre-existing conditions (e.g. such as lung disease, cancer, heart failure, cerebrovascular disease, renal disease, liver disease, hypertension, diabetes, and immunocompromising conditions) [9];
- symptomatic students and staff in regular contact with people who are at high risk of developing severe disease due to age, living in long-term care facilities or having the aforementioned pre-existing conditions [6].

In a situation where a nasopharyngeal or other upper respiratory specimen is not acceptable and/or to increase the acceptance of children being tested, saliva could be considered as an alternative specimen [11,12].

Contact tracing

Contact tracing [10,13] is a public health measure aiming to rapidly identify people who have been in contact with a case. The purpose of identifying and managing the contacts of probable or confirmed COVID-19 cases is to rapidly identify secondary cases, which may arise after transmission from the primary known cases, in order to intervene and interrupt further onward transmission. This is achieved by:

- promptly identifying contacts of a confirmed case of COVID-19;
- providing contacts with information on self-quarantine, proper hand hygiene and respiratory etiquette measures, and advising them on what to do if they develop symptoms;
- ensuring timely laboratory testing for SARS-CoV-2 detection among all contacts with symptoms and asymptomatic high-risk exposure (close) contacts.

Please see [ECDC's guidance on contact tracing](#) [10] for the definition of a contact person in terms of length of exposure to the infected case.

The associated risk of infection depends on the level of exposure (Table 1), which will in turn determine the type of management and monitoring.

Table 1. Classification of a contact based on level of exposure [10]

High-risk exposure (close contact)	Low-risk exposure
<p>A person:</p> <ul style="list-style-type: none"> • having had face-to-face contact with a COVID-19 case within two metres for more than 15 minutes; • having had physical contact with a COVID-19 case; • having had unprotected direct contact with the infectious secretions of a COVID-19 case (e.g. being coughed on); • who was in a closed environment (e.g. household, classroom, meeting room, hospital waiting room, etc.) with a COVID-19 case for more than 15 minutes; • travelling together (less than 2 metres proximity) with a COVID-19 case in any mode of transport for more than 15 minutes. 	<p>A person:</p> <ul style="list-style-type: none"> • having had face-to-face contact with a COVID-19 case within two metres for less than 15 minutes; • who was in a closed environment with a COVID-19 case for less than 15 minutes; • travelling together (less than 2 metres proximity) with a COVID-19 case in any mode of transport for less than 15 minutes.

Longer duration of contact is assumed to increase the risk of transmission; the 15-minute limit is arbitrarily selected for practical purposes. Public health authorities may consider some persons who have had a shorter duration of contact with the case as having had high-risk exposure, based on individual risk assessments.

In the context of school settings, high-risk exposure (close) contacts are defined as follows:

- Students and staff who have shared a classroom with the confirmed case and during the same time period.
- Other students and staff with whom the confirmed case has spent time, according to the definition in Table 1 'High risk exposure' (e.g. students with whom the confirmed case have been in close proximity during breaks or sport activities, in the cafeteria, gym or school playground).
- Students and staff in boarding schools/residential schools - also those sleeping in the same room or sharing a common kitchen, social space and/or bathroom.

Low-risk exposure contacts are defined as follows:

- Other students and staff with whom the confirmed case had contact, according to the definition in Table 1 'Low-risk exposure'.
- Public health authorities may consider some children with a low-risk exposure to a case as having had high-risk exposure, based on individual risk assessments.

Public health authorities should define contacts in these circumstances in conjunction with the school authorities and ensure that any decisions are clearly translated and understood by staff, students and guardians.

Contact identification and follow up

Contact tracing should begin immediately after a confirmed case has been identified to avoid any delays in reducing transmission through public health action, regardless of whether the confirmed case is a child, teacher or other member of school staff. Contact tracing should be carried out by local public health authorities, who may need to work closely with school authorities when the contact tracing involves a school. Contacts should be managed based on their exposure category, as outlined in the ECDC guidance on contact tracing, and this includes quarantine for high-risk exposure contacts [10]. Information should be given to parents about the symptoms to look out for in children, as well as where to access testing and medical advice. If symptoms occur in contacts they should immediately be isolated and provided with medical attention and promptly tested.

Children should quarantine and not attend school for 14 days if they live in a household with someone who has been confirmed to have COVID-19.

For further details on quarantine recommendations, see ECDC's guidance on contact tracing [10].

Consulted experts (in alphabetical order)

Cornelia Adlhoch, Eeva Broberg, Stefania De Angelis, Joana Gomes Dias, Erika Duffell, Maria Keramarou, Pete Kinross, Csaba Ködmön, Katrin Leitmeyer, Hanna Merk, Angeliki Melidou, Lina Nerlander, Pasi Penttinen, Emmanuel Robesyn, Gianfranco Spiteri, Ivo Van Walle.

References

1. European Commission/EACEA/Eurydice. The Structure of the European Education Systems 2018/19: Schematic Diagrams [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018. Available from: https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/sites/eurydice/files/the_structure_of_the_european_education_systems_2018_19.pdf.
2. Mossong J, Hens N, Jit M, Beutels P, Auranen K, Mikolajczyk R, et al. Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. *PLoS Med*. 2008 Mar 25;5(3):e74.
3. Posfay-Barbe KM, Wagner N, Gauthey M, Moussaoui D, Loevy N, Diana A, et al. COVID-19 in Children and the Dynamics of Infection in Families. *Pediatrics*. 2020 May 26.
4. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). COVID-19 in children and the role of school settings in COVID-19 transmission: ECDC; 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19-pandemic>.
5. Heald-Sargent T, Muller WJ, Zheng X, Rippe J, Patel AB, Kociolek LK. Age-Related Differences in Nasopharyngeal Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Levels in Patients With Mild to Moderate Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Pediatrics*. 2020.
6. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Strategies for the surveillance of COVID-19 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/COVID-19-surveillance-strategy-9-Apr-2020.pdf>.
7. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) in the EU/EEA and the UK– ninth update 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/covid-19-rapid-risk-assessment-coronavirus-disease-2019-ninth-update-23-april-2020.pdf>.
8. Lavezzo E, Franchin E, Ciavarella C, Cuomo-Dannenburg G, Barzon L, Del Vecchio C, et al. Suppression of a SARS-CoV-2 outbreak in the Italian municipality of Vo'. *Nature*. 2020 Jun 30.
9. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Testing strategies 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/surveillance/testing-strategies>.
10. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Contact tracing: public health management of persons, including healthcare workers, having had contact with COVID-19 cases in the European Union – second update 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19-contact-tracing-public-health-management>.
11. Wyllie AL, Fournier J, Casanovas-Massana A, Campbell M, Tokuyama M, Vijayakumar P, et al. Saliva is more sensitive for SARS-CoV-2 detection in COVID-19 patients than nasopharyngeal swabs. *medRxiv*. 2020:2020.04.16.20067835.
12. Czumbel LM, Kiss S, Farkas N, Mandel I, Hegyi AE, Nagy AK, et al. Saliva as a Candidate for COVID-19 Diagnostic Testing: A Meta-Analysis. *medRxiv*. 2020:2020.05.26.20112565.
13. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Contact tracing for COVID-19: current evidence, options for scale-up and an assessment of resources needed 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/contact-tracing-covid-19-evidence-scale-up-assessment-resources>.
14. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Guidance for discharge and ending isolation in the context of widespread community transmission of COVID-19 – first update 2020. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-guidance-discharge-and-ending-isolation>.

From: "Mielke, Martin" <MielkeM@rki.de>

To: "Mielke, Martin" <MielkeM@rki.de>

Date: 2/25/2021 7:49:00 AM

Subject: Fortgang der Diskussion zu AG-Testen (Bev. kerung)

Attachments: 20210222_Rückkehr vo~uern und Gästen.pdf

23.02.2021_Flussdiagramm SARS-CoV-2 direkter Erregernachweis.pptx

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

In Fortführung der Überlegungen zum Thema - AG-Tests für alle - sende ich 2 Grafiken in der Anlage (Flussdiagramm) und Links zu aktuell relevanten Dokumenten.

EpiBull 8/2021 : https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2021/Ausgaben/08_21-Selbsttests.pdf?__blob=publicationFile

Testkriterien: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Teststrategie/Testkriterien_Herbst_Winter.html;jsessionid16F316D91528CE9B0740F9A016422F8.internet072?nn#86228

Hinweise zur Testung: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Vorl_Testung_nCoV.html;jsessionid16F316D91528CE9B0740F9A016422F8.internet072?nn#86228

Nationale Teststrategie: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Teststrategie/Nat-Teststrat.html;jsessionid16F316D91528CE9B0740F9A016422F8.internet072?nn#86228

Schulen: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Teststrategie/Testkriterien-Schulen.pdf?__blob=publicationFile

Ich denke es ist gut, folgende Lebensbereiche in diesem Zusammenhang im Blick zu haben, sowie den jeweils zu erzielenden Zusatznutzen:

- 1) Gesundheitssektor (s. Nationale Teststrategie)
- 2) Kitas/ Schulen (indirekt damit Familien; s. Aktualisierung der Nationalen Teststrategie)
- 3) Betriebliche Konzepte (Betriebsarzt/ Hygienekonzept; " " HACCP-Konzept " " ; s. Aktualisierung der Nationalen Teststrategie)
- 4) Privater Bereich/ Öffnung (Reiseveranstalter, Konzert, Theater, Kino, Sport, Chor, etc.; s. Anlage " " Rückkehr " " Punkt 3.4 ; Teststrategie; Nachweis von Genesung/ Impfung).

Zitat aus der Anlage " " Rückkehr " " :

Punkt 3.4: " " Ein negativer Antigentest kann eine Infektion nie zu 100% ausschließen. Das Risiko eines Ereignisses mit massenhaften Ansteckungen (?Superspreading?) wird ? insbesondere in Kombination mit der Maskenpflicht ? hierdurch jedoch auf ein Minimum reduziert. Um die höchstmögliche Sicherheit zu gewährleisten, behält das Testergebnis nur für den Tag seiner Durchführung Gültigkeit. Ein negativer Antigentest kann somit niemals für mehrere Tage einen Zugang zu einer Veranstaltung ermöglichen. " "

Die grundlegende hier geschilderte Vorgehensweise entspricht beispielsweise auch der Empfehlung der Bundesregierung bei Zugang zu einem Pflegeheim: Schutz der Risikogruppen durch Antigentest bei den Besuchern (und ggf. Mitarbeitern). Ähnliche Vorgehensweisen mit einem Testkonzept sind auch bei anderen Veranstaltungsformaten ? beispielsweise ohne feste Sitzplatzzuordnung ? möglich und umsetzbar. " "

Wissenschaftliche Begleitung

B-FAST: Ich habe Kontakt zu B-FAST. Dort ist ggf. die Region Kinzigtal eine geeignete Modellregion.

<https://www.b-fast-umm.de/arbeitsumfeld/>

QUALITÄT DER TESTE: Die Qualität der AG-Tests ist noch sehr unterschiedlich. Im März wird es einen Ringversuch von INSTAND e.V. geben.

SURVEILLANCE-SYSTEME: Ferner ist die Kenntnis der Untererfassung in unseren Surveillance-Systemen von Bedeutung. Wer infiziert sich aktuell wo mit welcher Variante? Wieviele Fälle bleiben unerkannt?

Bericht der AG Testkapazität (Juli 2020)

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Laborkapazitaeten.html;jsessionidC6F316D91528CE9B0740F9A016422F8.internet072?nn#86228

Auszüge:

Die zuverlässige Identifizierung Infizierter durch entsprechende Tests ist weltweit die Basis für ein genaues Lagebild und Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie. Die Tests sind außerdem Grundlage für die adäquate Diagnose und Behandlung von Betroffenen, das Meldewesen, die Surveillance sowie für Screeningmaßnahmen in definierten Populationen. Das koordinierte Zusammenwirken aus der niederschweligen Testung Krankheitsverdächtiger, der konsequenten Nachverfolgung von Ansteckungsverdächtigen und der Aufmerksamkeit für Risikopopulationen z.B. in Heimen und Krankenhäusern stellt Basis und tragende Säulen einer Teststrategie dar. Diese wird flankiert durch Studien, wie etwa seroepidemiologische Erhebungen in bestimmten Kontexten und Regionen.

Das Zusammenspiel sollte im Hinblick auf effiziente Abläufe transparent und optimiert sein.

Die Steuerung von Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie (wie z.B. Hygienemaßnahmen, Abstandsregeln, Kontaktbeschränkungen, Quarantäne) beruht auf einer Lagebewertung mittels:-Testungen zur Erkennung akuter Infektionsfälle, gefolgt von Meldung und Kontaktnachverfolgung durch den öffentlichen Gesundheitsdienst sowie-Studien (Erhebungen), bei denen es nicht um individuelle Diagnosen, sondern um die Gewinnung von Erkenntnissen zum Infektionsgeschehen in einer Region oder Gruppe von Menschen geht. Ein bevölkerungsweites Screening kann zunächst attraktiv erscheinen, findet seine Begrenzung jedoch an den Testkapazitäten sowie dem daraus ableitbaren Erkenntnisgewinn und den Leistungsparametern der jeweils verwendeten Tests. So geht bei niedriger Prävalenz, wie sie aktuell vorliegt und auch nur geringgradig eingeschränkter Spezifität ein ungezieltes Testen mit einer relevanten Zahl von falsch-positiven Befunden einher. Die Herausforderung besteht somit in einer Optimierung des Einsatzes der Tests unter Berücksichtigung der erforderlichen Datenbasis, der epidemiologischen Situation und den zur Verfügung stehenden Testkapazitäten.

Die Identifizierung von mit SARS-CoV-2 akut infizierten Menschen ergänzt die generellen Vorsichtsmaßnahmen (Abstand, MNS, Händehygiene) zur Verminderung der Krankheitslast durch COVID-19. Diese Erkennung basiert auf der Aufmerksamkeit für Krankheitssymptome (Symptommonitoring) sowie auf dem laborbasierten Nachweis einer (akuten) Infektion, insbesondere in Bereichen, in denen Risikopatienten behandelt oder gepflegt werden (z.B. Krankenhäuser sowie Alten- oder Pflegeheime). Ein positives Testergebnis hat Bedeutung für die medizinische Beurteilung sowie für ggf. durch den ÖGD einzuleitende infektionspräventive Maßnahmen.

Ein einzelnes negatives Testergebnis schließt eine Infektion nicht sicher aus und bedarf entsprechend der Empfehlungen zum anlassbezogenen Testen gegebenenfalls einer Überprüfung. Untersuchungen symptomfreier Personen zur Früherkennung einer Infektion (beispielsweise bei Mitarbeiterinnen/ Mitarbeitern im Gesundheitswesen) ersetzen nicht die Einhaltung präventiver Maßnahmen einschließlich erweiterter Basishygiene in Einrichtungen des Gesundheitswesens. Diese Früherkennungsuntersuchungen sind immer nur eine (rückblickende) Momentaufnahme.

Gruß,
Martin Mielke

PS:

The effectiveness of population-wide, rapid antigen test based screening in reducing SARS-CoV-2 infection prevalence in Slovakia

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.12.02.20240648v1?rss>

Paper von Larremore modelliert frequent testing:

These results demonstrate that effective surveillance, including time to first detection and outbreak control, depends largely on frequency of testing and the speed of reporting, and is only marginally improved by high test sensitivity. We therefore conclude that surveillance should prioritize accessibility, frequency, and sample-to-answer time; analytical limits of detection should be secondary

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7325181.2/>

Schrittweise Rückkehr von Zuschauern und Gästen: Ein integrierter Ansatz für Kultur und Sport

Stand: 22.02.2021

Die nachfolgende Konzeption wurde interdisziplinär entworfen, um für die Kultur- und Sportbranche einen **risikominimierenden Weg zur Rückkehr von Gästen und Zuschauern** aufzuzeigen. Dabei wird ein mehrstufiges Konzept skizziert, welches in der Breite für jede Kultur- und Sportstätte funktionieren kann und gleichzeitig die Anpassung an individuelle Situationen ermöglicht. Der Leitfaden entstand unter Mitwirkung von Experten aus der **Hygiene- und Umweltmedizin, Mikrobiologie und Virologie, Infektiologie**, dem **Crowdmanagement**, der **Sportmedizin** und den **Kultur- und Rechtswissenschaften** sowie der **Raumlufttechnik** und **Gesundheitsökonomie**.

Mitwirkende (in alphabetischer Reihenfolge)

Marcel Altenburg, MSc MA (Lehrstuhl Crowd Science, Manchester Metropolitan University)

Prof. Dr. Roland Eils (BIH-Zentrum Digitale Gesundheit , Charité – Universitätsmedizin Berlin)

Prof. Dr. Lutz Fritsche (Facharzt für Innere Medizin, Vorstand Johannesstift Diakonie, Berlin)

Prof. Dr. Barbara Gärtner (Fachärztin für Mikrobiologie und Infektionsepidemiologie, Universitätsklinikum des Saarlandes)

Prof. Dr. Petra Gastmeier (Fachärztin für Hygiene und Umweltmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin)

Dr. Oliver Harzer MBA (Facharzt für Laboratoriumsmedizin, Gesundheitsökonom, Ingelheim)

Prof. Dr. Frank Heppner (Facharzt für Neuropathologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin)

Dr. Florian Kainzinger (Gesundheitsökonom, Berlin; *Koordinator*)

Prof. Dr. Martin Kriegel (Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin)

Priv.-Doz. Dr. Matthias Krüll (Facharzt für Innere Medizin, Pneumologie und Infektiologie, Berlin)

Christoph Lassahn, MD (Facharzt für Hygiene und Umweltmedizin, Hannover)

Prof. Dr. Tim Meyer (Institut für Sport und Präventivmedizin, Universität des Saarlandes)

Dr. Heinz-Jörn Moriske (Geschäftsführung Innenraumlufthygiene-Kommission am Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau)

Prof. Dr. Peter Raue (Rechtsanwalt, Berlin)

Prof. Dr. Wolfgang Schade (Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, Goslar)

Prof. Dr. Wolfgang Spoerr (Rechtsanwalt, Berlin)

Katja Wilhelm, MD (Ärztin, München)

Dr. Katharina Wodarz (Rechtsanwältin, Berlin)

Prof. Dr. Bernd Wolfarth (Sportmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin)

Dr. Georg-Christian Zinn (Facharzt für Hygiene und Umweltmedizin, Ingelheim)

I. Einleitung

Seit dem Frühjahr 2020 ist die Welt den Einflüssen der COVID-19-Pandemie ausgesetzt. Infektionsrisiken mit dem SARS-CoV-2-Erreger haben fast in allen Ländern dazu geführt, dass der Kulturbetrieb, Breiten- und Amateursport sowie Profiligen ihren Betrieb zwischenzeitlich oder gänzlich einstellen mussten und auch bei einer Wiederaufnahme des Betriebs noch immer ohne Gäste bzw. Zuschauer auskommen müssen.

Viele Sportligen haben ab Mai/Juni 2020 auf der Grundlage von mit den jeweiligen Behörden abgestimmten Hygienekonzepten den Betrieb wieder aufgenommen und konnten teilweise im Sommer 2020 wieder vor einer begrenzten Zuschauerzahl spielen. Der Kulturbereich durfte ebenfalls unter Einschränkungen in manchen Bundesländern wieder Veranstaltungen durchführen. Viele Darbietungsformate waren jedoch im ganzen Jahr 2020 nicht mehr möglich (u.a. Konzerte, Clubveranstaltungen).

Infolge des zweiten „Lockdowns“ im November 2020 wurden Kulturveranstaltungen unabhängig von bestehenden Hygienekonzepten deutschlandweit wieder eingestellt, Profisportligen mussten zum ausschließlichen „Geisterspielbetrieb“ unter Ausschluss von Zuschauern zurückkehren.

Durch die erneuten starken Einschränkungen im öffentlichen Leben konnte der Anstieg der Infektionszahlen Ende 2020 gebremst werden. Seit Dezember 2020 sind europaweit Impfstoffe gegen eine COVID-19-Erkrankung verfügbar, die schrittweise der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden.

Für den organisierten Profisport, den Breitensport sowie für die gesamte Kulturbranche war das Jahr 2020 mit erheblichen Einschränkungen und Verlusten verbunden – nicht nur wirtschaftlicher Natur, sondern auch auf emotionaler Ebene. Denn durch die Einstellung des Spielbetriebs oder die Durchführung von nur medial übertragenen Ereignissen droht ein großer emotionaler und kultureller Verlust der Bindung zwischen Besuchern, Zuschauern und Aktiven.

Durch den Beginn der Impfungen ist gleichzeitig der Einstieg in die vermutlich letzte Phase der Pandemie gelungen. Unzweifelhaft wird sich der gesamte Prozess bis zu einem ausreichenden Impfschutz der Risikogruppen und gesamten Bevölkerung viele Monate hinziehen (voraussichtlich bis Spätsommer 2021).

Da nicht mit einem stichtagsbezogenen, abrupten Ende der Pandemie zu rechnen ist, müssen jetzt geeignete Konzepte mit ausreichendem Vorlauf entworfen werden, um allen Kultur- und Sportsparten mit Zuschauerpartizipation den sicheren, schrittweise erfolgenden und nachhaltigen Weg zurück in eine Normalität zu ermöglichen. Eine Normalität, die die jeweilige epidemische Lage in

Abstimmung mit den politisch Verantwortlichen und den Gesundheitsbehörden berücksichtigt. Es geht also darum eine ausbalancierte Situation herzustellen, die Aspekte des Gesundheitsschutzes und insbesondere die Lage in den Kliniken berücksichtigt, andererseits verantwortungsbewusste Veranstaltungen mit Zuschauern zu ermöglichen. Wegen der ständig neuen Erkenntnisse der Wissenschaft und Entwicklungen (z.B. von Impfstoffen), aber auch dem Auftreten und der Verbreitung neuer Varianten des SARS-CoV-2-Virus (*variants of concern, VOCs*) mit modifizierten Eigenschaften, sprechen wir hier von einem *dynamischen Konzept*, das engmaschig weiterentwickelt wird. Die VOCs haben grundsätzlich denselben Übertragungsweg und sind daher auch denselben Präventionsmaßnahmen zugänglich.

Die hier vorliegende Konzeption spannt einen Bogen von der Organisation allgemeiner Breitenveranstaltungen (einfach und praktikabel umzusetzen bei insgesamt geringen Kosten) bis hin zu aufwändigen Spezialkonzepten für individuelle Veranstaltungen, um so dem gesamten Spektrum der mannigfaltigen Ansprüche gerecht zu werden bzw. diese angemessen abzudecken. Sämtliche Annahmen wurden unter Einbeziehung verschiedener hierfür notwendiger Expertisen entwickelt, darunter die Infektionsmedizin, die Raumluftechnik, die Veranstaltungsorganisation sowie das Kultur- und Sportmanagement. Die Ergebnisse bereits bestehender wissenschaftlicher Untersuchungen - wie beispielsweise der RESTART-19 Studie der Universitätsmedizin Halle (Saale) oder des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Instituts am Konzerthaus Dortmund - untermauern die hier getroffenen Empfehlungen (u.a. *Schade et al. 2020, Moritz et al. 2020*). Weitere Vertreter der Veranstaltungs- und Eventbranche haben in den vergangenen Wochen eigene Konzeptionen auf den Weg gebracht, die in einer Gesamtwürdigung durch die Politik und Entscheidungsträger einfließen sollten (vgl. <https://forumveranstaltungswirtschaft.org>).

Den Autoren ist bewusst, dass durch die Umsetzung der hier beschriebenen Maßnahmen Infektionen jeglicher Art nicht zu 100% ausgeschlossen werden können. Dies entspricht jedoch der Realität in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens. Es gilt jedoch, eine Abwägung verschiedener Risikobereiche vorzunehmen und durch verantwortungsbewusste Entscheidungen einmalige Kultur- und/oder Sportbereiche bzw. -veranstaltungen und die damit verbundenen Arbeitsplätze zu schützen. Zudem gilt es, den emotionalen, soziokulturellen und wirtschaftlichen Totalverlust durch das Fehlen von Vorort-Zuschauern und den damit verbundenen Konsequenzen soweit wie möglich zu vermeiden.

II. Grundlagen

2.1 Grundlagen von Übertragungswegen

Der Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 von Mensch zu Mensch ist die respiratorische Aufnahme virushaltiger Partikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen, Singen und Niesen entstehen. Je nach Partikelgröße wird zwischen den größeren Tröpfchen und kleineren Aerosolen unterschieden, wobei der Übergang zwischen beiden Formen fließend ist.

Größere respiratorische Partikel in Form von Tröpfchen entstehen hauptsächlich beim Husten und Niesen und sinken aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften schnell zu Boden. Klassische Aerosole werden beim Atmen und Sprechen sowie verstärkt beim Schreien und Singen freigesetzt. Im Gegensatz zu Tröpfchen können Aerosole auch über längere Zeit in der Luft schweben und sich in geschlossenen und schlecht durchlüfteten Räumen verteilen.

Grundsätzlich ist die Wahrscheinlichkeit einer Exposition gegenüber infektiösen Partikeln jeglicher Größe und deren Aufnahme über die Schleimhäute von Mund und Nase oder Augen im Umkreis von 2 bis 3 Metern um eine infizierte Person herum erhöht. Bei längerem Aufenthalt kann eine Übertragung in kleinen, schlecht gelüfteten Räumen stattfinden – jedoch nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen ebenso in Räumen mit guter Belüftung. Neben verschiedenen anderen Kriterien ist insbesondere die Menge der im Raum übertragenen Aerosole für die Wahrscheinlichkeit einer Infektion entscheidend. Durch die Anreicherung und Verteilung der Aerosole im Raum ist das Einhalten des Mindestabstandes zur Infektionsprävention ggf. nicht mehr ausreichend. Dagegen kann durch einen effektiven Luftaustausch die Aerosolkonzentration in einem Raum vermindert werden. Insbesondere scheinen hier eine vertikale Frischluftzufuhr (Zufuhr von Frischluft am Boden und Abzug flächig in der Decke verteilt) sowie eine Luftaustauschrate (*air exchange rate per hour, ACH*) von $ACH \geq 3$ sehr effizient zu sein (*Schade et al. 2020*).

Im Außenbereich kommen Übertragungen aufgrund der Luftbewegung und des Verdünnungseffektes insgesamt wesentlich seltener vor. Bei Wahrung des Mindestabstandes ist die Übertragungswahrscheinlichkeit im Außenbereich sehr gering.

Da vermehrungsfähige SARS-CoV-2-Viren unter Laborbedingungen auf Flächen einige Zeit infektiös bleiben können, ist auch die Möglichkeit einer Übertragung durch kontaminierte Oberflächen in Betracht zu ziehen, wenngleich diese im Vergleich zur respiratorischen Aufnahme virushaltiger Partikel eine deutlich untergeordnete Rolle spielt. Dabei wird nicht unterschieden, um welchen SARS-CoV-2-Stamm es sich handelt, da die entsprechende Prävention und die vorbeugenden Maßnahmen bei allen

bekannten SARS-CoV-2 Stämmen – auch den neueren, wohl infektiöseren – gleichermaßen wirksam sind.

2.2 Hygieneschutzmaßnahmen

Durch zahlreiche wissenschaftliche Studien und Untersuchungen wurden im Laufe des Jahres 2020 Erkenntnisse zum effektiven Schutz (Risikoreduktion) vor Infektionen mit dem COVID-19-Erreger gesammelt. Die wesentlichen Ergebnisse haben die meisten Regierungen, Behörden und Institute inzwischen in allgemeingültige Regeln und Handlungsempfehlungen umgesetzt:

- **Abstand halten**, um Infektionen durch große Tröpfchen im Nahfeld (<1,5 m) zu vermeiden.
- Umfangreiche **Hygiene** durch Händewaschen, Händedesinfektion und Nies-Etikette, um manuelle Übertragungen zu unterbinden.
- **Mund-Nasen-Schutz**, um das Risiko der Übertragung durch Partikel jeglicher Größe im unmittelbaren Umfeld um eine infizierte Person zu reduzieren.
- **Effektiver Luftaustausch**, um die Aerosolkonzentration in (insbesondere geschlossenen) Räumen zu vermindern und das Risiko einer Übertragung über größere Distanzen zu reduzieren.
- **Kontakte verfolgen**, um im Ansteckungsfall Betroffene zu informieren (z.B. durch Apps) und Infektionsketten schnell aufklären und unterbrechen zu können.

Andere Maßnahmen gelten inzwischen als wenig zielgerichtet bzw. haben die wissenschaftliche Evidenz für einen Schutz nicht erreichen können (u.a. Fiebermessen, Handschuhe im allgemeinen Breitereinsatz, Desinfektionsmaßnahmen von Oberflächen).

Im Rahmen der Konzeption von Veranstaltungsformaten mit Zuschauern und Gästen müssen die verfügbaren Hygieneschutzmaßnahmen sinnvoll eingesetzt und adaptiert werden. Die nachfolgend entworfene Struktur skizziert dies in mehreren Komplexitätsstufen – von einfach umsetzbaren Allgemeinmaßnahmen bis zu spezifischen Anwendungen in den jeweiligen Veranstaltungsstätten.

2.3 Annahmen zur Impfung

Um die Corona-Pandemie langfristig zu kontrollieren, bedarf es einer sicheren Immunität gegen SARS-CoV-2 für einen Großteil der Bevölkerung. Diese entsteht durch natürliche Infektion mit SARS-CoV-2 oder SARS-CoV-2-spezifische Impfung. Da versucht wird, natürliche Infektionen einzudämmen, kann nur durch eine flächendeckende und effektive SARS-CoV-2-Impfung in einem akzeptablen Zeitrahmen eine ausreichende Immunität erreicht werden.

Aktuell existieren in der Europäischen Union drei zugelassene Impfstoffe und zahlreiche weitere Impfstoffkandidaten befinden sich in der Entwicklung, Prüfung oder Zulassung. Es werden größte Anstrengungen unternommen, die Produktionskapazitäten der existierenden Impfstoffe auszuweiten und die gerechte Verteilung und Anwendung im Sinne der nationalen Impfstrategie umzusetzen. Die erste Zulassung erfolgte am 21.12.2020 und der Impfstart wurde in Deutschland auf den 27.12.2020 datiert. Aufgrund der derzeit noch begrenzten Impfstoffverfügbarkeit wurde unter Einschluss der Empfehlungen der Ständigen Impfkommission (STIKO) eine Priorisierung für die Impfung festgelegt (und ab 08.02.2021 auf Basis der Zulassung des dritten Impfstoffes aktualisiert). Diese sieht vor, dass vulnerable Personengruppen mit besonders erhöhtem Risiko für schwere oder tödliche Verläufe einer COVID-19-Erkrankung (Bewohner von Senioren- und Altenpflegeheimen, Personen über 80 Jahre), Personal mit besonders hohem Expositionsrisiko in medizinischen Einrichtungen und Personal mit besonders engem Kontakt zu vulnerablen Personengruppen prioritär geimpft werden. Allein diese erste Gruppe mit der „höchsten“ Priorität umfasst ca. 8,6 Millionen Menschen in Deutschland. Für diese ist der Impfzeitraum vom Januar bis ca. April 2021 vorgesehen. Darauf sollen ab ca. Mai 2021 12,7 Millionen Menschen der Gruppe 2 (Priorität hoch) folgen und anschließend die Menschen der Gruppe 3 (Priorität erhöht).

In der Realität konnten bis zum 20.02.2021 kumulativ 3.179.290 Personen in Deutschland mit mindestens der Erstdosis geimpft werden, darunter >760.000 Bewohner von Alten- und Pflegeheimen. Allein die letztgenannte Gruppe macht ca. ein Drittel der bisherigen Todesfälle in Verbindung mit SARS-CoV-2 in deutschen Krankenhäusern aus. Somit sind aktuell bereits >95% der ca. 800.000 Bewohner in deutschen Pflegeheimen geimpft (min. Erstdosis).

Generell können aktuell nur schwer Prognosen zum Impfverlauf und der relevanten Abdeckung der Bevölkerung aufgestellt werden (es ist nicht davon auszugehen, dass die Impfbereitschaft 100% der Bevölkerung umfasst). Mit Zulassung weiterer Impfstoffe, einer ausgeweiteten Produktion zugelassener Impfstoffe, einer Steigerung des Durchsatzes in den Impfzentren und einer veränderten Impfstrategie (z.B. durch das Hinauszögern der zweiten Impfung) ist jedoch davon auszugehen, dass zumindest bis Ende April ein Großteil der Risikogruppe 1 geimpft sein wird (Stand 20.02.2021: ca. 25%).

In Zusammenschau der genannten Aspekte ist davon auszugehen, dass trotz Impfstoffs kein zeitnahes Ende der Erregerverbreitung in Sicht ist. Hochrisikogruppen und Risikogruppen werden jedoch zunehmend geschützt sein und damit ist davon auszugehen, dass die Krankheitslast (insbesondere in Krankenhäusern und auf Intensivstationen) signifikant sinkt. Ca. 69% der bis dato in Deutschland aufgetretenen Todesfälle stammen aus der Altersgruppe >80 Jahre, die mit der ersten Priorität bis Frühjahr 2021 ein Impfangebot erhält und damit geschützt sein soll (*Quelle: RKI*).

Sobald dieses Ziel (Reduktion der Krankenhausbelastung) erreicht ist, sind Einschränkungen des öffentlichen Lebens und der Freiheitsrechte nicht mehr ohne Weiteres zu rechtfertigen. Um in der Saison 2021 für den Kultur- und Sportbereich einem weiteren ideellen und ökonomischen Ausfall entgegenzuwirken und Veranstaltungen im Rahmen des Möglichen mit einem Höchstmaß an Sicherheit stattfinden zu lassen, ist es daher unerlässlich, adäquate Konzepte zu erstellen, welche suffizienten Infektionsschutz und Diagnostik umfassen und damit verschiedene Interessenslagen in Einklang miteinander bringen.

III. Konzeption einer schrittweise erfolgenden Rückkehr von Zuschauern und Gästen zu Kultur- und Sportveranstaltungen

Das vorliegende Konzept versucht, einen Bogen über unterschiedlichste Veranstaltungsformen zu spannen, will dabei Veranstaltungen in geschlossenen oder offenen Räumen und solche mit geringen bis großen Teilnehmerzahlen einbeziehen. Dies geschieht unter Berücksichtigung verschiedener Budgetmöglichkeiten.

3.1 Ausschluss von Zuschauern bei Überlastung des Gesundheitswesens

In der Vergangenheit wurde – insbesondere unter Verweis auf die begrenzten Kapazitäten und Ressourcen im Gesundheitswesen – an vielen Stellen in der Pandemiebekämpfung das Erreichen eines Zielwerts i.H.v. maximal 50 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner in 7 Tagen als höchste Priorität und politische Richtschnur ausgegeben (inzwischen teilweise 35 Neuerkrankungen). Auch der Sport sowie die Kultur haben sich in diese Struktur eingefügt und in eigenen Konzepten entsprechende Beschränkungen bei steigender Inzidenz eingefügt.

Aus Sicht der Autoren dieses Konzepts müssen die genannten Zielwerte mit einem Fortschreiten der Erkenntnisse sowie insbesondere dem kontinuierlich steigenden Impfschutz, vor allem der Risikogruppen, angepasst oder abgeschafft werden. Alternative Ziele, wie beispielsweise die Auslastung der Krankenhäuser oder die Inzidenz in speziellen Altersgruppen, müssen vermehrt in den Blick genommen werden. Dies ist besonders notwendig, weil mit der Impfung von Risikogruppen, sich die Infektionszahlen nicht mehr parallel zur Belastung des Gesundheitswesens bewegen werden. Wesentliche Grundlage für die Einschränkung von Freiheitsrechten soll die Krankheitslast auf Intensivstationen und in Krankenhäusern sein. Dafür sind geeignete Messgrößen zu entwickeln, die bei der Überschreitung von Maximalwerten auch den Ausschluss von Zuschauern und Gästen bei Veranstaltungen bedeuten können. Die Corona-Ampel in Berlin kann hierfür ein gutes Vorbild sein – beispielsweise unter Anpassung der Inzidenzbetrachtung auf die Altersgruppen von 60 bis 79 Jahren und die Altersgruppe 80+. Risikogruppen in jüngeren Jahrgängen werden über die Messgrößen der Belastung des Gesundheitssystems adäquat integriert.

3.2 Konzeption ohne spezielle unterstützende Maßnahmen (**Basiskonzept**)

Der vorliegende Leitfaden sieht ein Basiskonzept zur Rückkehr von Zuschauern und Gästen vor, welches insbesondere auch bei Veranstaltungen mit begrenzten finanziellen Ressourcen zur Anwendung kommen kann. Es wird hierbei zwischen Veranstaltungen in geschlossenen Räumen und Freiluftveranstaltungen mit Sitzplatzvergabe unterschieden. Eine Differenzierung nach Impfstatus oder Inzidenzlevel erfolgt an dieser Stelle nicht.

a.) Veranstaltungen in geschlossenen Räumen (Indoor)

Zu Veranstaltungen in geschlossenen Räumen zählen beispielsweise Kulturveranstaltungen in Konzerthäusern, Theatern und Opern oder Sportevents in Hallen bzw. Arenen. Auch ein Übertrag auf andere Veranstaltungen in geschlossenen Räumlichkeiten, beispielsweise Kongresse oder Gottesdienste, kann hier vorgenommen werden. Für ein Allgemeinkonzept, das nicht auf die Spezifika der jeweiligen Lokalität eingeht, muss – um einen möglichst hohen Infektionsschutz zu erreichen – ein hoher Mindeststandard auf Basis der im einleitenden Kapitel definierten Hygieneschutzmaßnahmen etabliert werden.

Im Spätsommer 2020 war den Ausrichtern von Profisportveranstaltungen bereits die Rückkehr von bis zu 20% der maximalen Zuschauerkapazität gestattet – auch in Kultureinrichtungen wurden Gäste bei stark reduzierter Sitzzahl wieder zugelassen. Gemeinsam fanden in der Basketball Bundesliga (BBL) und der Handball Bundesliga (HBL) sowie den dazugehörigen internationalen Wettbewerben insgesamt 61 Spiele vor Zuschauern mit einer vorhandenen Datenbasis statt. Diese Spiele wurden von insgesamt 57.934 Zuschauern besucht. Zu keinem der Spiele ist den Ausrichtern bzw. Ligen ein Infektionsfall mit Übertragungsgeschehen bekannt – in keinem Fall kam es zu Kontaktnachverfolgungen durch die Gesundheitsbehörden bzw. Anfragen zu Ticket- und Platzdaten. Bei allen Veranstaltungen wurden umfangreiche Hygienekonzepte etabliert, Abstandsregeln eingeführt und überwacht sowie eine weitgehende Maskenpflicht umgesetzt. Auf Basis der vorhandenen Erkenntnisse sind keine daraus resultierenden Ausbruchseignisse oder „Superspreading-Events“ bekannt.

Bei voranschreitender Impfung der Risikogruppen sowie auf Basis der wissenschaftlichen Daten zu Hygieneschutzmaßnahmen, Indoor-Aerosolverteilungen (*Bazant 2021*) und der Grundlage der

Erfahrungen aus dem Spätsommer 2020 können folgende Eckpunkte für Veranstaltungen in geschlossenen Räumen formuliert werden:

- Erstellung eines Hygiene-, Lüftungs- und Infektionsschutzkonzeptes für den Veranstaltungsort.
- Maximal 25-30% der Gesamtauslastung durch Zuschauer bei Anwendung des nachfolgend geschilderten „Empfehlungsmodells“ (**so dass die allgemeinen Abstandsregeln weitgehend eingehalten werden können**) – eine Steigerung über die bisher zugelassenen 20% im Spätsommer 2020 kann über den steigenden Schutz der Risikogruppen und die nach wie vor vorhandene Einhaltung von Abstandsregeln begründet werden.
- Tickets werden ausschließlich personalisiert vergeben, um eine Kontaktverfolgung zu ermöglichen (inkl. Abgleich mit dem Personalausweis beim Zugang zur Veranstaltung).
- Personen eines Haushalts können ohne Mindestabstand zusammensitzen (zwei Haushalte, wenn die jeweilige Landesverordnung den Kontakt zweier Haushalte zulässt).
- Einsatzmöglichkeit von Sitz- und Stehplätzen – Stehplätze jedoch ausschließlich in nummerierten und markierten Zonen (analog zu Sitzplätzen) und mit zusätzlichem Ordnungspersonal.
- Durchgehende Maskenpflicht unter Nutzung von mindestens OP-Schutzstandard (Mund-Nasen-Schutz).
- Kein Konsum von Speisen und Getränken im Arenabereich (Sitzbereich) bzw. Theatersaal, um eine hohe Compliance der Maskenpflicht sicherzustellen.
- Zusätzliches Ordnungspersonal zur Überwachung der Maskenpflicht und Abstände.
- Angabe von Maximalpersonenzahlen je Toiletten- und Sanitärbereich und Abstandsgebote.
- Kein Ausschank von alkoholischen Getränken bei Veranstaltungen > 1.000 Besucher.
- Ergänzende Konzepte zum Ein- und Auslass, der Pause/Halbzeit sowie der An- und Abreise.
- Einführung einer „Bagatelluntergrenze“ für Veranstaltungen im Amateur- und Breitensport: Bei Veranstaltungen mit ausreichend Flächen sollte es eine Sonderregelung mit folgenden Inhalten geben: Verpflichtendes Tragen eines MNS während der gesamten Veranstaltung, Einhaltung eines erweiterten Mindestabstands (z.B. 2,0 m), Nachweis und Nachverfolgung von Infektionsketten der Anwesenden durch z.B. eine App-Lösung, aber keine konkrete notwendige Zuordnung mit personalisierten Tickets und individueller Platzzuweisung.

Nachfolgendes Sitzplatzschema wird als genereller Standard für Veranstaltungen in geschlossenen Räumlichkeiten empfohlen.¹ Es kann von einer durchschnittlichen Sitzbreite von 50 cm ausgegangen werden, so dass bei einer entsprechenden Zahl an freien Plätzen Mindestabstände eingehalten werden.

¹ In historischen oder modernen Kulturveranstaltungsräumen bzw. Theatersälen kann es im Unterschied zu Arenen zu anderen Sitzplatzanforderungen kommen.

Benachbarte Plätze werden ausschließlich einheitlich verkauft und an Personen aus einem Haushalt vergeben (Haushaltsgruppen) bzw. an Personen aus maximal zwei Haushalten (falls ein gemeinsamer Aufenthalt bzw. ein Zusammentreffen aus zwei Haushalten im jeweiligen Bundesland gestattet ist). Zwei freie Reihen ermöglichen einen vertikalen Abstand von ca. 1,50 m.

Die Empfehlung geht ausschließlich von 4er und 2er Haushaltsgruppen aus. Sollten auch Plätze an beispielsweise 3er Haushalte oder Einzelpersonen vergeben werden, sinkt die Auslastungsmöglichkeit entsprechend. Bei Schulvorstellungen ist es möglich, Schüler wie in der Schule im Klassenverband sitzen zu lassen. Ein Sicherheitsabstand von 2,0 m sollte zur nächsten Klasse gewährleistet sein.

Das Empfehlungsmodell realisiert fast durchgehend 1,50 m Abstand zwischen Haushalten (mit geringen Einschränkungen in der Diagonale, die jedoch bei einem durchschnittlichen Neigungswinkel von 33 Grad auf Tribünen sowie einer einheitlichen Blickrichtung als wenig kritisch eingeschätzt werden kann) und ermöglicht eine theoretische Auslastung von ca. 30 % der Gesamtkapazität. Es kann ohne zusätzliche Investition in Lüftungsgutachten oder Teststrategien implementiert werden.

Empfehlungsmodell Sitzplätze Indoor

X	X	X	X					X	X	X	X
					X	X					
X	X	X	X					X	X	X	X
					X	X					
X	X	X	X					X	X	X	X
					X	X					
X	X	X	X					X	X	X	X

Das beschriebene „Basismodell“ sieht keine Unterscheidung zwischen geimpften und nicht geimpften Personen („Immunitätsnachweis“) vor. Ebenso ist eine Differenzierung nach Personen, die bereits eine COVID-19 Erkrankung durchgemacht haben und damit potenziell eine Immunität besitzen, nicht von Nöten. **Es ist somit ein allgemein anwendbares Modell zur Risikoreduktion (Abstand, Maske) bei Indoor-Veranstaltungen in einer Zeitperiode mit vertretbarer Inzidenz und steigendem Impfschutz**

der Risikobevölkerung. Zur weiteren Verfeinerung und Präzisierung sowie Risikoabschätzung können Online-Tools aus wissenschaftlichen Einrichtungen verwendet werden, um ein Infektionsrisiko in geschlossenen Räumlichkeiten abzuschätzen (z.B. <https://indoor-covid-safety.herokuapp.com>) oder um maximale Personenzahlen zu berechnen (vgl. z.B. Modell der TU Berlin). Weiter können zur individuellen Risikoabschätzung gezielte Untersuchungen zu Aerosolverteilungen in Abhängigkeit der jeweils installierten Belüftungsanlagen in Veranstaltungssälen durchgeführt werden (Angebot des Fraunhofer HHI).

b.) Veranstaltungen im Freiluftbereich (Outdoor)

Kultur- und Sportveranstaltungen im Freiluftbereich haben grundsätzlich eine günstigere Lüftungssituation als Veranstaltungen in geschlossenen Räumlichkeiten. Die Situation der Umluft und Luftbewegung ist ein wesentliches Kriterium, um das Ansteckungsrisiko im direkten Umfeld zu bewerten (vgl. RKI-Kriterien zum Kontaktpersonenmanagement). Analog zu Indoor-Sportveranstaltungen wurden im Spätsommer und Herbst 2020 auch beispielsweise Fußballspiele wieder ausgetragen. Insgesamt fanden 72 Spiele mit einer für diesen Zweck auswertbaren Datenbasis der Bundesliga und 2. Bundesliga statt. Diese Spiele wurden von insgesamt 250.570 Zuschauern besucht. Auch bei den hier ausgewerteten Outdoor-Veranstaltungen, die unter einem strengen Hygienemanagement stattfanden, sind keine Infektionsübertragungen oder Ausbruchereignisse bekannt. Im Rahmen der Spiele kam es insgesamt zu drei Anfragen der zuständigen Gesundheitsämter, da zum Zeitpunkt des Spiels (nachträglich identifizierte) positiv getestete Personen das Stadion besucht hatten. In diesem Zusammenhang wurden 47 Personendatensätze an die Behörden übergeben. Zu 8 von 47 Personen liegt ein Rücklauf der Gesundheitsämter vor, dass keine Infektionen/Ansteckungen festgestellt werden konnten. Bei den weiteren 39 Personen gibt es keine Rückmeldung seitens der Behörden. Da von weiteren Behördenkontakten im Falle einer festgestellten Übertragung ausgegangen werden kann, gehen die Bundesligavereine von keinen Folgeinfektionen aus.

In Anlehnung an die Indoor-Veranstaltungen soll an dieser Stelle ein Rahmen für Kultur- und Sportevents im Freiluftbereich geschaffen werden, welcher einen allgemeingültigen Standard für beliebige Outdoor-Austragungsorte auf einem hohen Schutzniveau sicherstellt:

- Erstellung eines Hygiene- und Infektionsschutzkonzeptes für den Veranstaltungsort.
- Maximal 35-40% der Gesamtauslastung durch Zuschauer (zur Einhaltung von Abstandsregeln)
 - eine Steigerung über die bisher zugelassenen 20% im Spätsommer 2020 kann über den

steigenden Schutz der Risikogruppen und die nach wie vor vorhandene Einhaltung von Abstandsregeln begründet werden.

- Tickets werden ausschließlich personalisiert vergeben, um eine Kontaktverfolgung zu ermöglichen.
- Personen eines Haushalts können ohne Mindestabstand zusammensitzen (zwei Haushalte dann, wenn die jeweilige Landesverordnung den Kontakt zweier Haushalte zulässt).
- Einsatzmöglichkeit von Sitz- und Stehplätzen – Stehplätze jedoch ausschließlich in nummerierten und markierten Zonen (analog zu Sitzplätzen) und mit zusätzlichem Ordnungspersonal.
- Maskenpflicht in allen Bereichen bis zum zugeteilten Sitzplatz (Mund-Nasen-Bedeckung) oder auch durchgängig während der Veranstaltung.
- Zusätzliches Sicherheitspersonal zur Überwachung der Maskenpflicht und Abstände.
- Angabe von Maximalpersonenzahlen je Toiletten- und Sanitärbereich.
- Kein Ausschank von alkoholischen Getränken bei Veranstaltungen > 1.000 Besucher.
- Ergänzende Konzepte zum Ein- und Auslass, der Pause/Halbzeit sowie der An- und Abreise.
- Einführung einer „Bagatelluntergrenze“ für Veranstaltungen im Amateur- und Breitensport: Bei Veranstaltungen mit ausreichend Außenflächen sollte es eine Sonderregelung mit folgenden Inhalten geben: Verpflichtendes Tragen eines MNS während der gesamten Veranstaltung, Einhaltung eines erweiterten Mindestabstands (z.B. 2,0 m), Nachweis und Nachverfolgung von Infektionsketten der Anwesenden durch z.B. eine App-Lösung, aber keine konkrete notwendige Zuordnung mit personalisierten Tickets und individueller Stehplatzzuweisung.

Die vorgenannten Eckpunkte gelten ausschließlich für Veranstaltungen mit fester Platzzuordnung (z.B. Fußballspiele, Stadion-Leichtathletikveranstaltungen, Konzerte mit Sitzplätzen). Bei Durchführung von Veranstaltungen mit freier Bewegung der Zuschauer während des jeweiligen Events (z.B. Laufveranstaltungen/Marathon oder Veranstaltungen mit unbestuhlten Arenabereichen) werden adaptierte Konzepte unter Anwendung weiterer Maßnahmen gestaltet (z.B. Festlegung von Maximalpersonen je Veranstaltungsfläche, Maskenpflicht, Testkonzepte).

Das nachfolgende Sitzplatzschema wird als genereller Standard für Veranstaltungen im Freiluftbereich empfohlen. Es kann von einer durchschnittlichen Sitzbreite von 50 cm ausgegangen werden, so dass bei einer entsprechenden Zahl an freien Plätzen Mindestabstände eingehalten werden. Benachbarte Plätze werden ausschließlich an Personen aus einem Haushalt vergeben (Haushaltsgruppen). Im vertikalen Sitzbereich ermöglicht eine freie Reihe einen Abstand zwischen zwei Personen i.H.v. ca. 1,00

m. Dies wird aufgrund der Freiluftsituation und vor allem der einheitlichen Ausrichtung der Blickrichtung der Personen (kein längerer Face-to-Face-Kontakt) als vertretbar angesehen.

Die Empfehlung geht ausschließlich von 4er und 2er Haushaltsgruppen aus. Sollten auch Plätze an beispielsweise 3er Haushalte oder Einzelpersonen vergeben werden, sinkt die Auslastungsmöglichkeit entsprechend.

Das Empfehlungsmodell ermöglicht eine theoretische Auslastung von ca. 40% der Gesamtkapazität. Es kann ohne zusätzliche Investition in Lüftungsgutachten oder Teststrategien implementiert werden.

Empfehlungsmodell Sitzplätze Outdoor

x	x	x	x					x	x	x	x
					x	x					
x	x	x	x					x	x	x	x
					x	x					
x	x	x	x					x	x	x	x
					x	x					
x	x	x	x					x	x	x	x
					x	x					
x	x	x	x					x	x	x	x
					x	x					

Das beschriebene „Basismodell“ sieht keine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Personen mit und ohne Immunitätsnachweis vor (Gewährung Zugang etc.). **Es ist somit ein allgemein anwendbares Modell zur Risikoreduktion (Abstand, Maske) bei Outdoor-Veranstaltungen in einer Zeitperiode mit vertretbarer Inzidenz und gleichzeitig schrittweise steigendem Impfschutz der Risikobevölkerung.**

3.3 Fachärztliche Konzeption mit zusätzlichem Lüftungsgutachten

Die beschriebenen Basismodelle für eine kontrollierte Rückholung von Gästen und Zuschauern zu Kultur- und Sportveranstaltungen ermöglichen die Auslastung von Spielstätten mit 25-30 bzw. 35-40% der üblicherweise vorhandenen Kapazität – unter Anwendung von strengen Hygiene- und

Infektionsschutzmaßnahmen. Es handelt sich hierbei um eine Allgemeinstruktur, die mit vertretbarem Aufwand von jeder Spielstätte bei Entwicklung eines Hygienekonzeptes umgesetzt werden kann.

Aus zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und Modellierungen ist bekannt, dass die individuelle Raumsituation (gilt für indoor und outdoor) einen erheblichen Einfluss auf die Luftbewegung und Lüftung sowie auf das damit verbundene Infektionsrisiko mit dem SARS-CoV-2-Erreger hat.

In geeigneten, zumeist modernen Veranstaltungsorten mit neuer Lüftungstechnik wird es oftmals möglich sein, über die Standards des beschriebenen Basismodells hinauszugehen und eine höhere Zuschauerzahl bei Veranstaltungen zuzulassen. Dies gilt insbesondere für große Veranstaltungsarenen mit hohen Raumvolumina und mehrfachem aktivem Luftwechsel. Ebenso können spezifische Lüftungssituationen im Freiluftbereich (beispielsweise Stadien mit starken Zugeffekten) eine überlegene Infektionsschutzsituation bieten.

Diese Kriterien müssen immer **individuell für die jeweilige Lokalität** geprüft und ausgewertet werden. Hierbei spielt nicht nur der Arenabereich eine Rolle – bei insgesamt steigender Auslastung sind auch die allgemeinen Wegesituationen / Flure, die Sanitärbereiche, die An- und Abreise sowie mögliche VIP- und Hospitalitybereiche sowie die Speisenversorgung neu zu bewerten.

Eine **verantwortungsbewusste Steigerung** der Kapazität über die Auslastungswerte des Basismodells hinaus erfordert daher ein **Spezialkonzept**, welches mit zusätzlichen Aufwendungen verbunden ist und damit nicht für jeden Veranstaltungsort als praktikabel umsetzbar angesehen wird. Um einen einheitlichen Standard sicherzustellen und eine neutrale Prüfinstanz zu involvieren, wird empfohlen, ein **fachärztliches Hygienekonzept** als Voraussetzung für die Steigerung der Auslastung über die Basiswerte hinaus zu definieren (erstellt durch beispielsweise eine/n Fachärztin/Facharzt für Hygiene und Umweltmedizin, eine/n Fachärztin/Facharzt für Mikrobiologie oder einen Infektiologen). Dieses Konzept muss nicht nur Ausführungen zu jedem der vorgenannten „neuralgischen“ Bereiche enthalten, es soll auch eine **Einschätzung** auf Basis von erhobenen Messwerten zur vorhandenen Raumluftechnik und Lüftungssituation beinhalten.

Die hier beschriebene Vorgehensweise setzt bewusst einen **hohen (medizinischen) Standard**, um einen unkontrollierten „Wildwuchs“ von Hygienekonzepten zu unterbinden. Die Überschreitung eines allgemein umsetzbaren Basismodells (25-30/40% Auslastung) ist somit nur auf Basis individueller Konzeptionen unter Einbindung von Expertise und Datenerhebungen möglich.

3.4 Konzeption mit unterstützender Teststrategie

Neben dem Basismodell und der individuellen Steigerungsmöglichkeit der Auslastung auf Basis von medizinischen Fachkonzepten ist auch ein „**Maximalmodell**“ auf Basis einer Teststrategie für die Durchführung von Veranstaltungen denkbar.

Noch im Sommer 2020 hat die Veranstaltungs- und Sportbranche mehrheitlich die Durchführung von Massentests als Zugangskriterium zu Veranstaltungen abgelehnt. Dies begründete sich vor allem darin, dass zum damaligen Zeitpunkt nur die PCR-Technologie zur Detektion akuter Infektionen zur Verfügung stand. Nicht nur, dass die PCR in der Durchführung zeitaufwändig und teuer ist, insbesondere stellt die Diagnostik auf Basis dieser molekularbiologischen Methode eine knappe Ressource dar, die aus Sicht der Veranstaltungsbranche nicht massenhaft für Besucher bei Kultur- oder Sportevents verbraucht werden sollte (gemäß auch den Empfehlungen des RKI, von massenhaften PCR-Tests bei asymptomatischen Personen ohne Begründung durch den ausgeübten Beruf abzusehen).

Durch die Etablierung von zugelassenen Antigen-Testsystemen hat sich jedoch die Diagnostiklandschaft im Herbst 2020 weiterentwickelt. Antigenteste sind weniger sensitiv als die PCR und detektieren eine Infektion erst ab einer höheren Viruslast. Die Detektionsschwelle von Antigentests korreliert jedoch nach bisherigen (indirekten und abgeleiteten) wissenschaftlichen Erkenntnissen mit der Infektiosität einer infizierten Person (*Jefferson et al., 2020*). Zudem sind Antigentests in weit größeren Mengen verfügbar, als dies bei PCR-Reagenzien der Fall ist, und mit geringerem Zeitaufwand sowie kostengünstiger und v.a. dezentral, d.h. am Veranstaltungsort, durchführbar. Zur genauen Interpretation von Antigentestergebnissen wird es jedoch erst in den kommenden Monaten weitere Forschungsergebnisse geben, die sorgfältig beachtet werden müssen (vgl. zur Einschränkung in der Sensitivität auch *Möckel et al., 2021*).

Auf Basis dieser neuen Diagnostikmöglichkeiten soll die Erweiterung der Zugangsmöglichkeit zu Veranstaltungen umgesetzt werden – bis hin zu einer möglichen Vollausslastung von Opern, Konzerten und Sportereignissen. Folgende Eckpunkte sollen dabei verbindlich umgesetzt werden:

- Kultur- und Sporteinrichtungen fördern gemeinsam **digitale Portale zur Unterstützung des Kontaktmanagements** sowie des erleichterten administrativen Zugangs zu einer Vielzahl von Veranstaltungen (unter Beachtung des Datenschutzes).
- Besucher erhalten einen Antigentest bei Ankunft am Veranstaltungsort (oder an dezentralen Teststellen am Tag der Veranstaltung) – ausschließlich auf Basis von CE-zugelassenen Tests, die auch in weiteren wissenschaftlichen Auswertungen positiv abgeschnitten haben (z.B. *Corman et al., 2020*). Die Probenentnahme und Auswertung erfolgt ausschließlich durch

geschultes Personal (kein Selbsttest zur Manipulationssicherheit) – hierfür ist ausreichend Zeit und räumliches Platzangebot – inkl. Einhaltung der Mindestabstände – einzuplanen. Andernfalls ist eine Umsetzung dieses Konzeptansatzes nicht möglich.

- Positive Antigentestergebnisse werden gemäß den gesetzlichen Vorgaben gemeldet. Bei größeren Veranstaltungen ist eine direkte Verifizierung auf Basis sensitiverer Methoden bzw. mobiler PCR-Strukturen möglich. Personen mit einem positiven Antigentestergebnis sowie alle gemeinsam angereisten (und in einer Haushaltsgruppe gebuchten) Tickets erhalten keinen Zugang zur Veranstaltung.
- Besucher können **freiwillig einen Impfnachweis oder eine durchgemachte und PCR-bestätigte COVID-19-Erkrankung digital verifizieren** lassen („Immunitätsnachweis“) – dies hat ausschließlich zur Folge, dass ein Test vor Ort nicht durchgeführt werden muss und damit die Testkapazitäten entlastet werden (vorausgesetzt, zum Zeitpunkt der Etablierung dieses Konzepts ist der Nachweis erbracht, dass geimpfte Personen selbst nicht mehr Überträger der Infektion sein können; vgl. *Levine-Tiefenbrun et al.*). Eine Diskriminierung von Personen ohne Immunitätsnachweis ist damit nicht verbunden, im Gegenteil – alle Besucher profitieren bei steigender (verifizierter) Impfquote von kürzeren Wartezeiten. Ein Immunitätsnachweis wird nur für eine bestimmte, noch zu definierende Zeitperiode bestehen (z.B. keine unbegrenzte Immunität aufgrund einer durchgemachten Infektion).
- Für die Prozesse der Verifizierung (beispielsweise der Impfbestätigung) wird ein Ablauf auf höchstem medizinischen Standard sichergestellt, um Missbrauch und Fälschungen zu verhindern. Ggf. wird dies auch mit einem persönlich wahrzunehmenden Termin in einer medizinischen Ambulanz kombiniert werden. **Digitale Portale** ermöglichen eine weitreichende Nutzungsmöglichkeit einer erfolgten Verifizierung bei vielen Veranstaltungen (für die jeweils gültigen Zeiträume). Mögliche Umsetzungsbeispiele wurden innerhalb von Workshops bereits beispielhaft erarbeitet.
- Weitere Maßnahmen des Hygienemanagements (siehe Basiskonzept oben) bleiben in Kraft und werden als zusätzlicher Schutz umgesetzt.

Ein negativer Antigentest kann eine Infektion nie zu 100% ausschließen. Das Risiko eines Ereignisses mit massenhaften Ansteckungen („Superspreading“) wird – insbesondere in Kombination mit der Maskenpflicht – hierdurch jedoch auf ein Minimum reduziert. Um die höchstmögliche Sicherheit zu gewährleisten, behält das Testergebnis nur für den Tag seiner Durchführung Gültigkeit. Ein negativer Antigentest kann somit niemals für mehrere Tage einen Zugang zu einer Veranstaltung ermöglichen. Die grundlegende hier geschilderte Vorgehensweise entspricht beispielsweise auch der Empfehlung der Bundesregierung bei Zugang zu einem Pflegeheim: Schutz der Risikogruppen durch Antigentest bei den Besuchern (und ggf. Mitarbeitern). Ähnliche Vorgehensweisen mit einem Testkonzept sind auch

bei anderen Veranstaltungsformaten – beispielsweise ohne feste Sitzplatzzuordnung – möglich und umsetzbar. Diese Schutzmaßnahme kann beispielsweise auch ein Teilnehmerfeld einer großen Sportveranstaltung (z.B. Marathon) sicher zusammenkommen lassen und in Kombination mit anderen Hygieneregeln die Durchführung dieser Events wieder ermöglichen („mass gathering events“). Bei Schulvorstellungen in Theatern ist es möglich, zur vollen Auslastung des Veranstaltungsraumes zurückzukehren, wenn es für Schüler und Lehrende eine regelmäßige und lückenlose Teststrategie gibt.

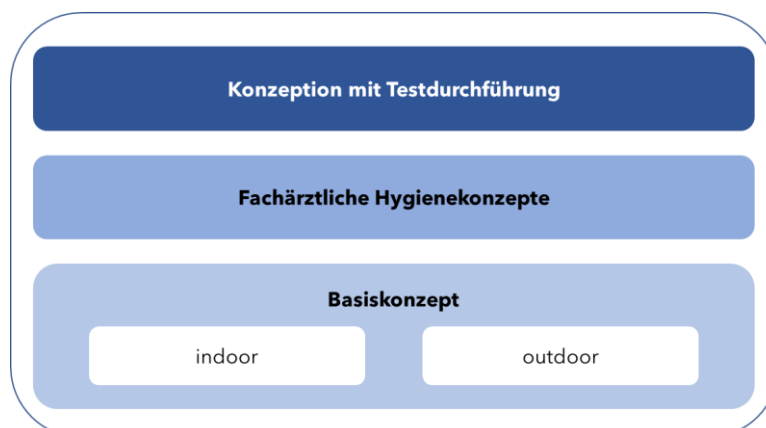
Unternehmen der Veranstaltungsbranche haben in den vergangenen Monaten intensiv an der praktikablen Umsetzbarkeit von kleinen, mittleren und großen Teststationen auf Basis von Antigendiagnostik gearbeitet sowie Prototypen getestet.

IV. Schlussplädoyer / Zusammenfassung

Alle Gesellschaftsgruppen haben in Deutschland in den vergangenen Monaten in einer gemeinsamen solidarischen Kraftanstrengung einen Beitrag zur Bekämpfung der SARS-CoV-2-Pandemie geleistet. Insbesondere die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Gesundheitswesen sowie in den Behörden und Gesundheitsämtern haben dabei weit oberhalb der eigentlichen Zeit- und Kapazitätsgrenzen gearbeitet. Die Kultur- und Veranstaltungsbranche hat den Betrieb weitgehend eingestellt und damit einen Beitrag zur Verhinderung der Infektionsausbreitung geleistet – der professionelle Spitzensport hat seine Ereignisse seit Mai 2020 fast ausschließlich unter Ausschluss von Zuschauern ausgetragen.

Gleichzeitig haben in Deutschland jedoch auch viele Gruppen, Institutionen und Unternehmen einen Beitrag zur globalen Innovationsentwicklung rund um die Pandemie geleistet. Der erste weltweit eingesetzte mRNA-Impfstoff wurde wesentlich in Mainz entwickelt, mehrere Startups haben relevante Diagnostik-Tools auf den Markt gebracht und die zuerst in Deutschland etablierte Teststrategie von Profisportlern ist inzwischen zum weltweiten Standard geworden.

In der nächsten – und hoffentlich abschließenden – Phase der Pandemie geht es nun darum einen intelligenten, schrittweise erfolgenden und auch innovativen Weg zurück zur Normalität zu finden. Der in diesem Konzeptpapier beschriebene Ansatz ermöglicht es, Breitenveranstaltungen mit vertretbarem Aufwand und Risiko sowie Spitzenveranstaltungen unter relevanten Zusatzinvestitionen wieder zu den Zuschauern und Gästen zu transportieren. Entsprechende Innovationen können wissenschaftlich begleitet werden und bieten das Potenzial zur globalen Weitergabe. Darüber hinaus werden Arbeitsplätze im Event- und Kulturbereich gesichert und Künstlern und Sportlern wieder die Grundlagen ihres Schaffens zurückgegeben sowie ein gesellschaftlicher Beitrag zur Rückkehr in eine Normalität geleistet. Das Basishygienekonzept und die speziellen Hygienekonzepte dienen dem kollektiven Infektionsschutz, aber auch dem berechtigten individuellen Anspruch der Besucher und Teilnehmenden auf eine sichere Veranstaltung in Zeiten der Corona-Pandemie.



V. Literatur

Bazant MZ, Bush JWM (2021). Beyond Six Feet: A Guideline to Limit Indoor Airborne Transmission of COVID-19. medRxiv 2020.08.26.20182824; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.08.26.20182824>.

Corman VM, Haage VC, Bleicker T, Schmidt ML, Mühlemann B, Zuchowski M, Jó Lei WK, Tscheak P, Möncke-Buchner E, Müller MA, Krumbholz A, Drexler JF, Drosten C (2020). Comparison of seven commercial SARS-CoV-2 rapid Point-of-Care Antigen tests. medRxiv 2020.11.12.20230292; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.11.12.20230292>.

Jefferson, T., Spencer, E., Brassey, J., and Heneghan, C. (2020). Viral cultures for COVID-19 infectivity assessment. Systematic review. medRxiv, 2020.2008.2004.20167932.

Levine-Tiefenbrun M, Yelin I, Katz R, Herzel E, Golan Z, Schreiber L, Wolf T, Nadler V, Ben-Tov A, Kuint J, Gazit S, Patalon T, Chodick G, Kishony R (2021). Decreased SARS-CoV-2 viral load following vaccination. medRxiv 2021.02.06.21251283; doi: <https://doi.org/10.1101/2021.02.06.21251283>.

Möckel M, Corman VM, Stegemann MS, Hofmann J, Stein A, Jones TC, Gastmeier P, Seybold J, Offermann R, Bachmann U, Lindner T, Bauer W, Drosten C, Rosen A, Somasundaram R (2021). SARS-CoV-2 Antigen Rapid Immunoassay for Diagnosis of COVID-19 in the Emergency Department, Biomarkers, DOI: 10.1080/1354750X.2021.1876769.

Moritz S, Gottschick C, Horn J, Popp M, Langer S, Klee B, Purschke O, Gekle M, Ihling A, Mikolajczyk R (2020). The Risk of Indoor Sports and Culture Events for the Transmission of COVID-19 (Restart-19). medRxiv 2020.10.28.20221580; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.10.28.20221580>

Paul G, Plecko T, Sethi S, Schilling T, Wienand O, Jürgensen J S, Menzel C U (2020): Klinische Performance eines neuen SARS-CoV-2-Antigen-Tests in der Notaufnahme eines Maximalversorgers. Epid Bull 2021;3:13 -18 | DOI 10.25646/7732.2

Schade W, Reimer V, Seipenbusch M, Willer U, Hübner EG (2021). Viral aerosol transmission of COVID-19 from simulated human emission in a concert hall, Int. J. Infect. Dis. 2021, submitted.

Unterstützende Organisationen und Institutionen:

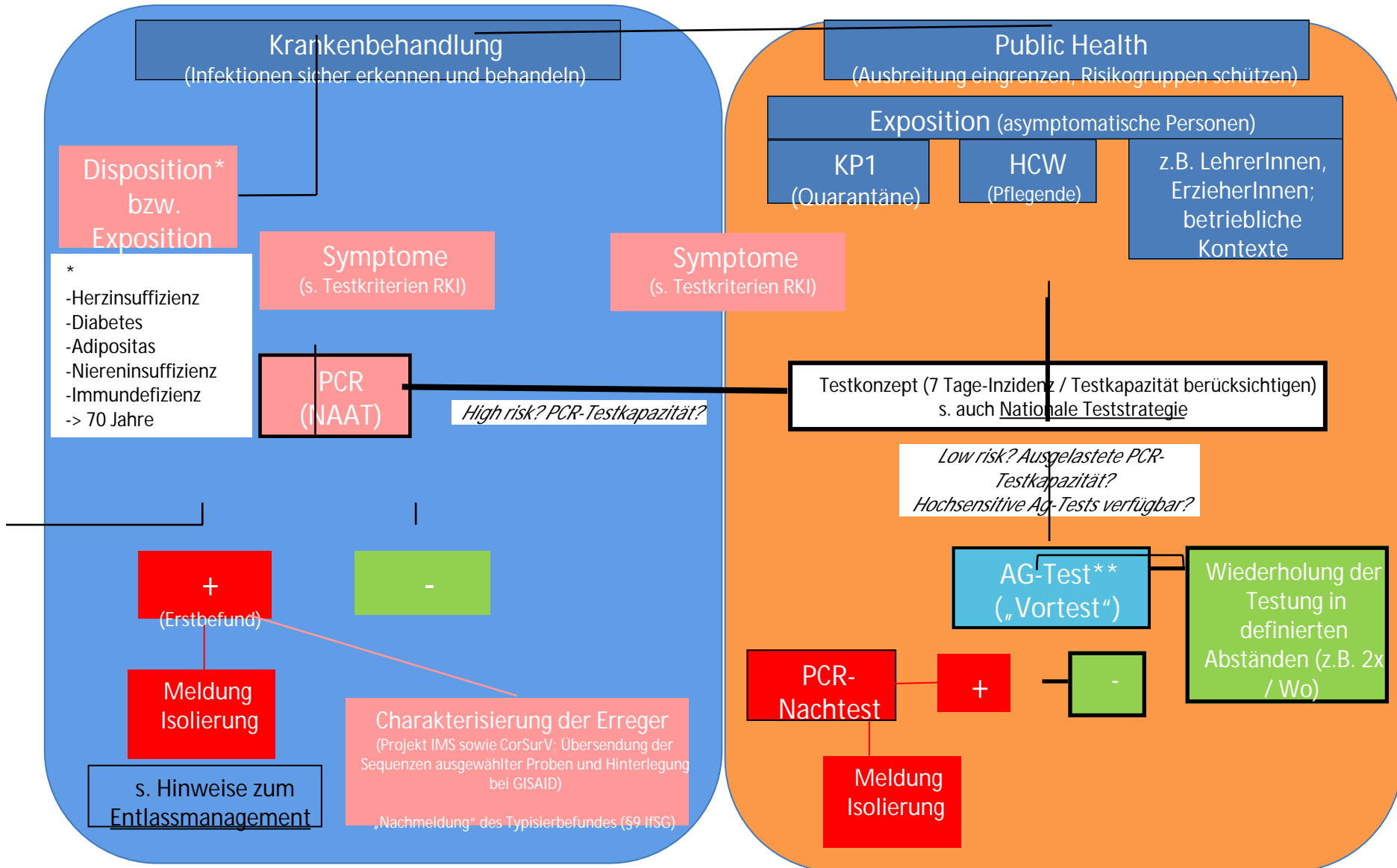


sasha waltz & guests



SARS-CoV-2 Nachweis (direkter Erregernachweis)

Hinweise zur Testung https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Vorl_Testung_nCoV.html



** s. Mindestanforderungen (PEI/ RKI; BfArM)

Vorschlag Mielke RKI
Ergänzung Müller¹

Nationale Teststrategie



Nationale Teststrategie SARS-CoV-2

Stand 08.02.2021

Für eine Aufzählung der spezifischen Einrichtungen und Personengruppen ist die Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2 verbindlich.

Grundsätzlich gilt:	Symptomatische Personen ¹	Empfehlung Test-Typ						
		PCR-Test ²	Antigentest ³	Frequenz	Kosten-Regelung	Priorisierung		
1) Erweiterte Basishygiene 2) Symptom-Monitoring 3) Gemäß Vorschriften Bund/Länder: Abstand halten, Hygieneregeln einhalten, Alltagsmaske tragen, Lüften (AHA+L)	Allgemeinbevölkerung (exponiert)	Kontaktpersonen: Personen mit Kontakt zu bestätigtem COVID-19 Fall (z.B. gleicher Haushalt, 15-minütiger Kontakt, sowie über Corona-Warn-App)	■	■ ⁴	●	K	1	
		Bei Ausbruch: Personen in Einrichtungen oder Unternehmen nach §§ 23 Abs. 3 und 36 Abs. 1 IfSG, z.B. Arztpraxen, Kitas, Schulen, Asylbewerberheime	■	■ ^{5,6}	●	VO	3	
	Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Einrichtungen für Menschen mit Behinderungen -Rehabilitation	Patienten, Bewohner, Betreute	(Wieder-)Aufnahme sowie vor ambulanten Operationen oder vor ambulanter Dialyse	■	■ ⁴	●	VO, K (KHG)	3
		bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2	
	-Ambulante Operationen -Ambulante Pflege -Ambulante Dialyse -Hospizdienste, Tageskliniken	Personal	ohne COVID-19 Fall	■	■ ^{7,9}	↻	VO	5
			bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2
	(Zahn)-, Arztpraxen, weitere Praxen ¹⁰ , Rettungsdienste	Personal	ohne COVID-19 Fall	■ ¹¹	■ ⁷	↻	VO	4
			vor Besuch der Einrichtung	■	■ ^{8,9}	↻	VO	5
		Personal	bei Ausbruch	■	■ ^{5,6}	●	VO	2
			ohne COVID-19 Fall	■	■ ⁷	↻	VO	4

- Empfohlen
- Möglich
- Möglich bei begrenzter Kapazität
- Möglich, Kosten nicht durch VO gedeckt
- Akut (Wiederholung bis zu einmal pro Person)
- ↻ Regelmäßig, abhängig von Testkonzept der Einrichtung/Unternehmen

- 1) Differenzialdiagnostische Aspekte berücksichtigen (z.B. Influenza)
- 2) Labor-basierte (einschließlich solcher zur Feststellung von Virusvarianten) und Point-of-Care PCR-Tests
- 3) Bei positivem Antigen-Testergebnis Bestätigung durch PCR
- 4) Falls schnelles Resultat notwendig
- 5) Ggf. zur Kohorten-Isolierung
- 6) Z.B. auch labor-basierte Antigen-Tests zur Entlastung von Kapazitäten
- 7) Empfehlungen für Reihentestungen: Abstimmung mit der lokalen Gesundheitsbehörde, erhöhte 7-Tage-Inzidenz, von z.B. >50/100.000, Einhaltung der Hygienemaßnahmen

- 8) Empfohlen bei 7-Tage-Inzidenz >50/100.000, Einhaltung der Hygienemaßnahmen
 - 9) Nur Point-of-Care Antigentest gemäß VO
 - 10) Praxen anderer humanmedizinischer Heilberufe nach §23 Abs. 3 Satz 1 Nr. 9 IfSG
 - 11) Veranlassung durch Öffentlichen Gesundheitsdienst erforderlich
- K = Krankenbehandlung
KHG = Krankenhausfinanzierungsgesetz
VO = Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2