

Alternierende Quarantäne zur nachhaltigen Eindämmung von Epidemien

(übersetzt, sinngemäß leicht bearbeitet und gestrafft)

Meidan D, Schulmann N, Cohen R, et al.

Publiziert am 11.1.2021 in Nature Communications

Original-Text: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20324-8>

als pdf: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-20324-8.pdf>

Die gesamte deutsche Übersetzung inklusive der Referenzen zu den Quellen ist hier zu finden:

www.openup.magia.at/downloads/AQ.pdf. Mit Textmarkierungen: www.openup.magia.at/downloads/AQ-m.pdf

Abstract

Ohne wirksame Medikamente bleiben soziale Distanzierung, Abriegelung und Mobilitätseinschränkungen unsere wichtigste Reaktion auf den Ausbruch von Epidemien.

Um die verheerenden individuellen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Folgen zu mildern, schlagen wir hier eine alternierende Quarantänestrategie vor:

- Bei jedem Ausbruch bleibt die Hälfte der Bevölkerung zu Hause unter strikter Quarantäne, während die andere Hälfte weiterhin aktiv ist. Dabei findet ein wöchentlicher Wechsel zwischen Aktivität und Quarantäne statt.
- Diese Regelung minimiert infektiöse Interaktionen, da es nur jeweils der Hälfte der Bevölkerung erlaubt, für die Hälfte der Zeit zu interagieren.
- Das Ergebnis ist eine drastische Verringerung der Infektionsübertragungen, vergleichbar mit einer bevölkerungsweiten Abriegelung, trotz der Aufrechterhaltung des halbwegs normalen Alltagslebens bei ungefähr 50% Kapazität.
- Die wöchentlichen Wechsel sind speziell auf die natürlichen Zyklen von COVID-19 abgestimmt, daher kann die Mehrheit der infizierten Personen genau zum Zeitpunkt ihrer stärksten Infektiosität effektiv gefunden und isoliert werden.

Einleitung

Im Kampf gegen die Ausbreitung von SARS-CoV-2 haben die meisten Länder auf Maßnahmen zur sozialen Distanzierung zurückgegriffen und Restriktionen auferlegt, die von kompletten Abriegelungen bis hin zu strengen Mobilitätseinschränkungen reichen und schwerwiegende Auswirkungen auf die sozioökonomische Stabilität und das Wachstum haben.

Solche Maßnahmen müssen über längere Zeiträume (in der Regel Monate) durchgeführt werden, um ein Wiederaufflammen der Epidemie zu verhindern, sobald sie aufgehoben sind.

Dies ist jedoch praktisch undurchführbar, da die individuellen sozialen und wirtschaftlichen Bedürfnisse irgendwann das wahrgenommene Risiko der Pandemie übersteigen.

In der Praxis kommt es daher in vielen Ländern zu sporadischen sozialen Einschränkungen - oft ohne eine systemische Strategie zur Eindämmung.

Die sozioökonomischen Folgen sind verheerend und reichen von politischen Unruhen über schwerwiegende wirtschaftliche Verluste bis hin zu einer Verschlechterung der psychischen Gesundheit der gefährdeten Bevölkerungsgruppen.

Pandemien - sowohl die aktuelle als auch zukünftige - zeigen eine entscheidende Verwundbarkeit der modernen Gesellschaft auf und fordern uns zur Entwicklung effektiver sozioökonomisch nachhaltiger Reaktionsprotokolle auf.

Daher untersuchen wir hier eine Alternierende Quarantänestrategie (AQ), die auf unsere unmittelbare Bedrohung durch COVID-19 zugeschnitten und getestet wurde.

Die AQ-Strategie basiert auf zwei Prinzipien:

- (i) Vollständige Isolierung der symptomatischen Personen und ihrer Haushaltsmitglieder
- (ii) Aufteilung der verbleibenden Haushalte in zwei Gruppen, die wöchentlich abwechselnd inaktiv (in Quarantäne) oder aktiv (im Alltagsleben) sind.

Die Aufteilung auf diese 2 Gruppen muss auf Haushaltsebene erfolgen, damit möglichst alle Mitbewohner in der gleichen Gruppe sind. So bleibt Gruppe 1 aktiv, während Gruppe 2 zu Hause bleibt und umgekehrt. Dadurch ist eine geringe Interaktion zwischen den beiden Gruppen gewährleistet (Abb. 1d).

Das bewirkt eine hocheffiziente Eindämmung der Neuinfektionen neben einer kontinuierlichen sozioökonomischen Produktivität, bei der zu jedem Zeitpunkt jeweils die Hälfte der Arbeitskräfte aktiv bleibt.

Die AQ-Strategie begrenzt die soziale Durchmischung und bietet gleichzeitig eine Möglichkeit für die Menschen, ihr wirtschaftliches und soziales Alltagsleben aufrechtzuerhalten.

Die Wirksamkeit beruht auf 2 unabhängigen Effekten:

- (i) die doppelte Aufteilung von Bevölkerung und Zeit und
- (ii) die Synchronisation mit dem Krankheitszyklus (Abb. 1).

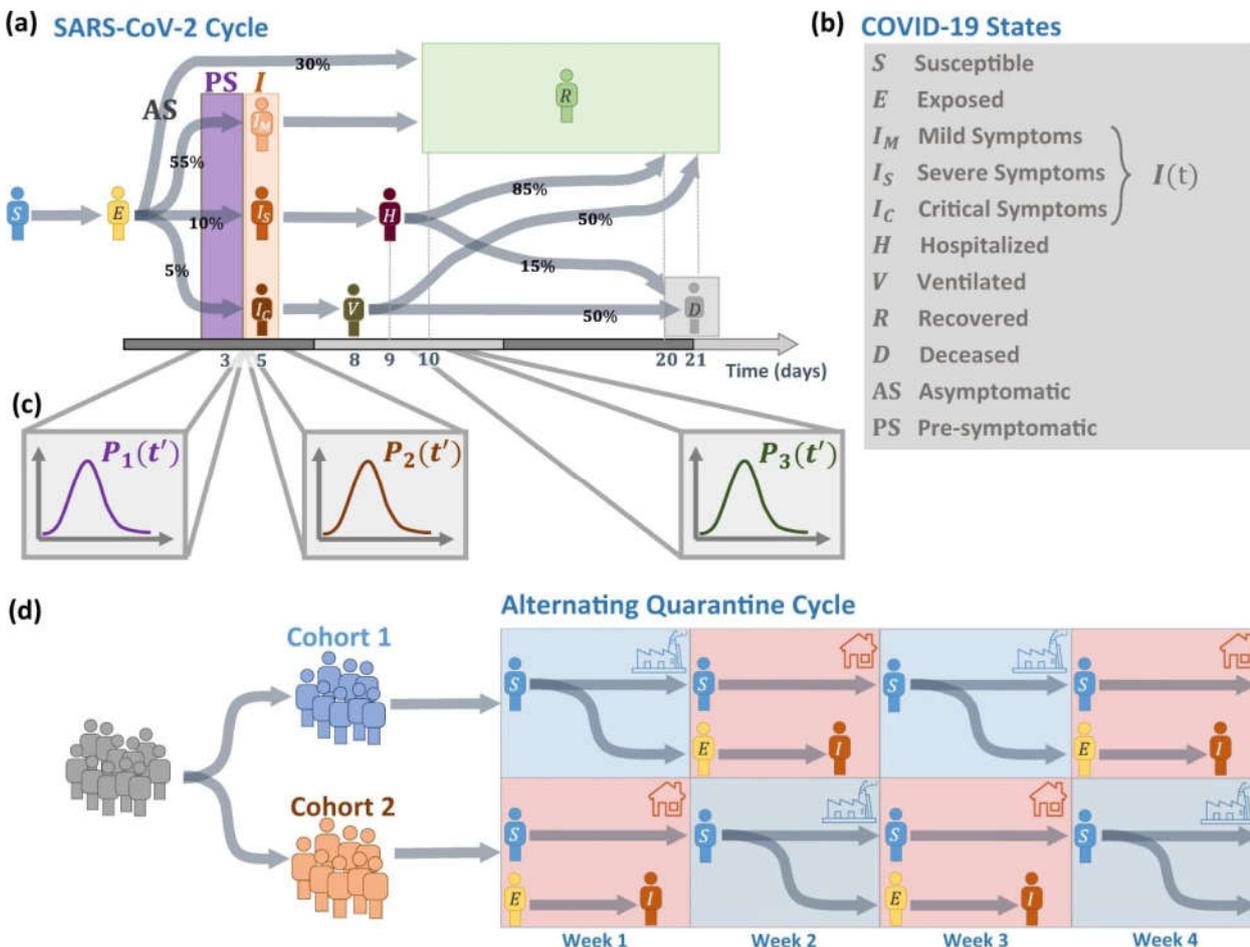


Abb. 1: Die Zyklen von SARS-CoV-2/COVID-19 und der alternierenden Quarantäne-Strategie

Wie wirkt sich die AQ auf die Übertragungsrate aus?

- die Aufteilung der Bevölkerung in zwei isolierte Gruppen reduziert die Anzahl der infektiösen Begegnungen, da die Dichte in Klassenzimmern, Werkstätten und an öffentlichen Orten nur halb so hoch ist. Daher interagieren die aktiven Personen nur mit der Hälfte ihrer üblichen Kontakte in der Hälfte der Zeit, also jeweils eine von zwei Wochen. Dies reduziert die Anzahl der tatsächlichen Ansteckungen innerhalb jeder Gruppe zusätzlich auf etwa die Hälfte.
- Dieser Effekt wird durch die Synchronisation von AQ mit dem natürlichen Krankheitszyklus noch verstärkt. Damit wird eines der Hauptprobleme für die Eindämmung von COVID-19 angegangen: Die gefürchtete Verbreitung durch präsymptomatische Personen einige Tage vor dem Auftreten der Symptome (Abb. 1a).

Betrachten Sie eine Person in Gruppe 1, die in Woche 1 aktiv war und daher möglicherweise infiziert wurde. Sie wird bald in die präsymptomatische Phase kommen, in dem sie am meisten zur Verbreitung beitragen dürfte. Gemäß der AQ-Routine ist diese Person jedoch in Woche 2 zu Hause und folglich genau während ihrer vermuteten präsymptomatischen Phase isoliert. Wenn sie am Ende der Woche 2 weiterhin keine Symptome zeigen, ist sie mit großer Wahrscheinlichkeit gesund und kann daher in Woche 3 gemäß der geplanten Routine wieder aktiv werden. Wenn sie jedoch während der Quarantäne Symptome entwickelt, muss sie (und ihre Mitbewohner) in Isolation bleiben wie alle anderen symptomatischen Personen. Somit steht die wöchentliche Abfolge in Übereinstimmung mit dem natürlichen SARS-CoV-2-Krankheitszyklus und führt in der Praxis zur Isolierung der Mehrheit der unsichtbaren Spreader. Wenn diese Regelung vollständig durchgeführt wird, können in jedem zweiwöchigen Zyklus die infektiösen Personen gefunden und aussortiert werden und eine aktive, überwiegend nicht infizierte Belegschaft weiterarbeiten (oder eine Klassengruppe in der Schule weiter im Präsenzunterricht bleiben).

Im Folgenden untersuchen wir die Effektivität von AQ und überlegen praktische Aspekte der Umsetzung.

Ergebnisse

Modellierung und Projektion der Ausbreitung von SARS-CoV-2

Siehe Voll-Version.

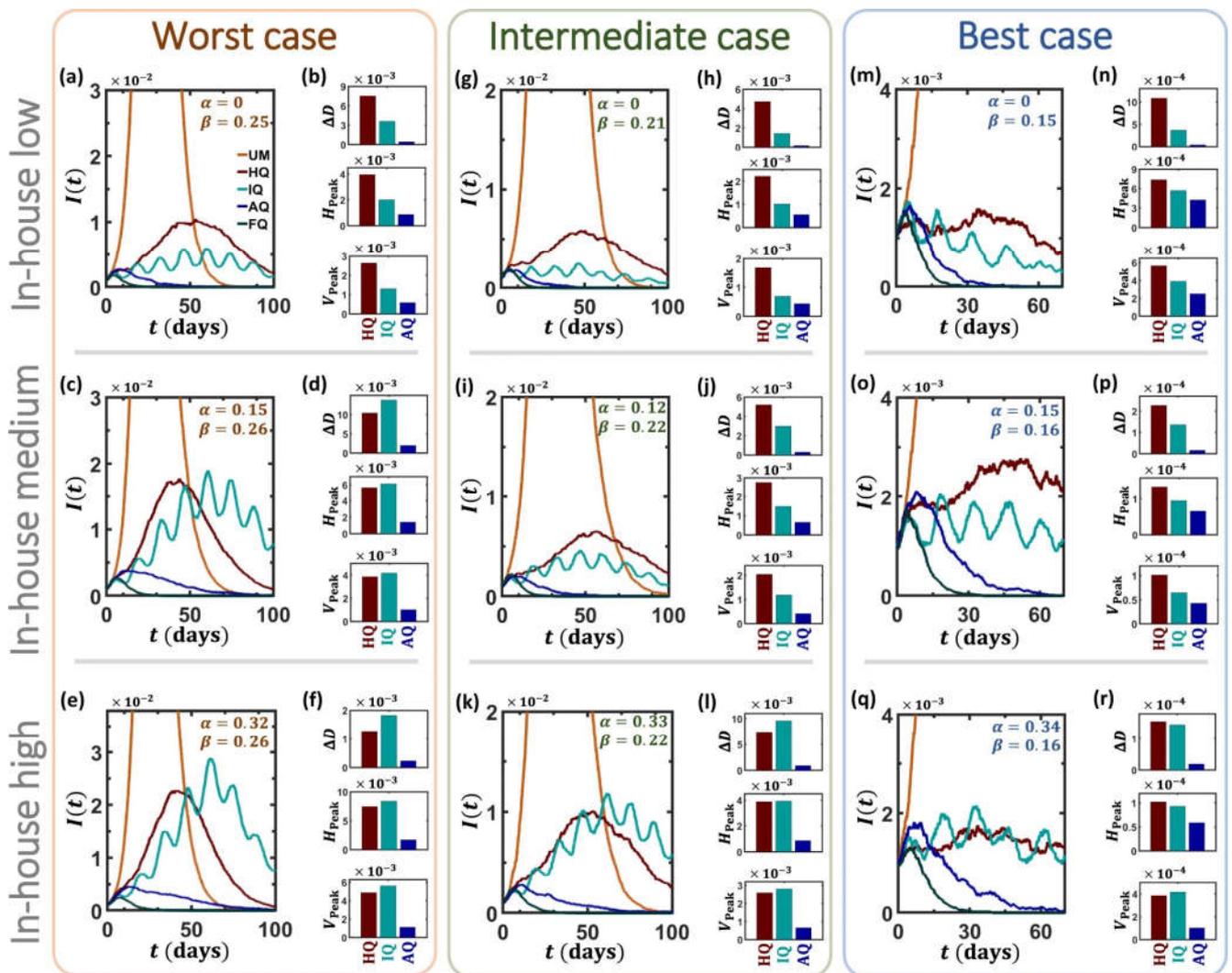


Abb. 4: Die Auswirkung der alternierenden Quarantäne.

Vollständige Quarantäne - FQ

Die theoretisch ideale Strategie, bei der alle außerhäuslichen Aktivitäten eingestellt werden (Abb. 4a-f, grau). Es gibt keine externen Kontakte, nur die interne Übertragung bleibt bestehen, bis auch diese Sekundärfektionen erschöpft sind und die Ausbreitung zum Stillstand kommt.

Wie erwartet, löscht FQ die Krankheit in Abwesenheit einer häuslichen Übertragung extrem effizient innerhalb von etwa 3 Wochen aus. Natürlich ist eine solche perfekte, luftdichte Quarantäne undurchführbar, sie bietet jedoch eine Basis für einen Vergleich und legt die Grenzen für eine perfekte Eindämmung fest.

Alternierende Quarantäne - AQ

Bei der AQ-Strategie (Abb. 4a-f, blau) teilen wir die Haushalte in zwei gleiche Gruppen, Gruppen 1 und 2, und lassen sie nacheinander in einem zweiwöchigen Zyklus zwischen Inaktivität und Aktivität abwechseln.

Die Infektionszahl fällt ebenfalls exponentiell ab, wenn auch langsamer im Vergleich zur totalen FQ, obwohl 50 % der Bevölkerung kontinuierlich aktiv bleibt.

Zum Vergleich betrachten wir zwei natürliche Alternativen zur AQ, die beide die sozioökonomische Aktivität zu 50% aufrechterhalten wollen:

Intermittierende Quarantäne - IQ

Die gesamte Bevölkerung wechselt zwischen Quarantäne und Aktivität (Abb. 4a-f, türkis).

Diese IQ ist deutlich weniger effektiv als AQ, was nicht nur zu höheren Infektions-Spitzen führt, sondern auch zu einer wesentlich längeren Zeit bis zur Rückkehr zur Normalität.

Halbe Quarantäne - HQ

Bei dieser Variante nimmt nur die Hälfte der Bevölkerung an sozioökonomischen Aktivitäten teil, während die andere Hälfte angewiesen wird, zu Hause zu bleiben (Abb. 4a-f, rot). HQ drückt die Infektionsrate, indem es die sozialen Interaktionen um etwa die Hälfte reduziert. Unsere Simulationsergebnisse zeigen jedoch, dass diese Reduktion wie bei IQ nicht ausreichend ist: Die Infektionszahlen steigen weiterhin deutlich über ein kontrollierbares Maß hinaus.

Erkenntnisse

Während die Mehrheit der infizierten Personen leichte oder gar keine Symptome zeigt, kann ein gewisser Prozentsatz schwere Komplikationen erleiden, die zu einem Krankenhausaufenthalt oder einer Beatmung und in einigen Fällen sogar zum Tod führen (Abb. 1a).

Unsere Eindämmungsstrategie konzentriert sich auf diese unerwünschten Teile der Infektionsspur:

- die Sterblichkeit (Restmortalität vermeidbarer Todesfälle) zu verringern und
- die Spitzenbelastung der nationalen Kapazitäten von Spitalsbehandlung und Intensivbetreuung (inklusive Beatmung) nicht überschreiten.

Dazu haben wir die **Restmortalität ΔD** und die Spitzenbelastungen von **Hospitalsierung H_{Peak}** und **Intensivbetreuung V_{Peak}** berechnet.

Natürlich gibt es auch unter Quarantäne-basierten Strategien unvermeidliche Todesfälle (siehe Abb. 4b, d, f).

Der Vorteil von AQ (dunkelblau) gegenüber IQ (türkis) und HQ (rot) ist deutlich sichtbar: Es sterben nur etwa 14% der Menschen, die Spitzenbelastung der Spitäler liegt je nach Annahme Anteil der haushaltsinternen Infektionen (in-house) bei nur 25% und 66%.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass AQ die effizienteste Eindämmung bietet, die der idealen Leistung von FQ am nächsten kommt, ohne die Wirtschaft vollständig herunterzufahren.

Das Ergebnis ist ein effektiver Kraftmultiplikator, der die gleiche Menge an Aktivität ermöglicht - 50 % - aber mit einem dramatisch verstärkten Eindämmungseffekt.

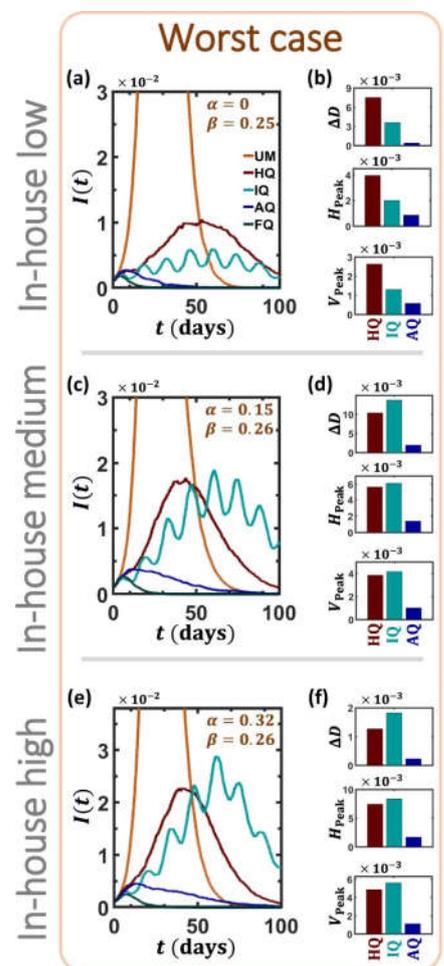


Abb. 4 (a) – (f)

Zusätzliche Maßnahmen

Unsere bisherige Analyse ging von einem Worst-Case-Szenario aus, wenn keine zusätzlichen prophylaktischen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, die in der Realität jedoch praktiziert werden. Mindestabstand, Persönliche Hygiene, Gesichtsmasken und Kontaktvermeidung können die Infektionsrate deutlich reduzieren, ohne dass dies zu Lasten der Wirtschaftlichkeit geht.

Daher wird in der Praxis die Infektionsrate $\beta = 0,26$ wahrscheinlich mit der allmählichen Anpassung an eine prophylaktische Routine reduziert werden. Wir haben deshalb noch 2 andere Szenarien untersucht:

- Intermediate: $\beta \approx 0,21$ entspricht etwa 20%igen Reduktion der Infektionsrate (Abb. 4g-l)
- Best case: $\beta \approx 0,15$, entspricht etwa 40%igen Reduktion der Infektionsrate (Abb. 4m-r).

Besonders relevant ist die AQ für den selektiven Schutz gefährdeter Bevölkerungsgruppen, da ja die Auswirkungen von Covid-19 auf ältere Menschen oder auf Personen mit Komorbiditäten unverhältnismäßig schwerwiegend sind.

Alle diese Maßnahmen können zusätzlich und nicht anstelle von AQ durchgeführt werden.

Man kann auch alternative periodische Zyklen in Betracht ziehen. Zum Beispiel einen 5:9-Zyklus, in dem die aktiven Schichten nur 5 Tage dauern. In dieser Version von AQ tritt die Gesellschaft in eine Routine ein, in der jeder Gruppe eine 5-Tage-Arbeitswoche zugestanden wird und dann eine bevölkerungsweite Quarantäne (PWQ) über das Wochenende eingehalten wird.

Solche Anpassungen würden die Effektivität der AQ noch weiter verbessern.

Alternierende (AQ) auch vorteilhafter als Lockdown-Strategie PWQ

AQ ist also nicht nur wesentlich vorteilhafter gegenüber anderen partiellen Strategien wie IQ oder HQ, sondern sogar gegenüber einer PWQ (population wide quarantine – also Lockdown) gegenübergestellt werden kann.

Unsere Analyse zeigt, dass AQ in beiden Bereichen entscheidende Vorteile hat.

Die Herausforderung bei der PWQ besteht darin, dass die Menschen über einen Zeitraum von mehreren Wochen zu Hause bleiben müssen, damit die Eindämmung wirksam wird. In Abb. 4a haben wir zum Beispiel festgestellt, dass eine theoretisch perfekt durchgezogene Quarantäne 100% (FQ) immer noch mehrere Wochen benötigt, um einen signifikanten Reduktion der Infektionen zu erreichen. Unter diesen Bedingungen kann man eine wirklich vollständige Abriegelung nicht durchführen. Grundlegende Dienste, Versorgungsketten und einige Teile des Marktes müssen aktiv bleiben, da die Haushalte nicht in der Lage sind, ihre Vorräte aufzubewahren und sich über einen so langen Zeitraum selbst zu versorgen. In der Praxis kann daher eine PWQ höchstens auf einem Niveau von 70-75 % umgesetzt werden.

Im Gegensatz dazu erfordert das AQ-Schema eine Isolierung für jede einzelne Person nur für jeweils eine Woche. Daher kann die Quarantäne-Gruppe für nur eine Woche in ein komplett abgeschottet werden, da sie leicht auch den Einkauf von Vorräten oder anderen Dienstleistungen in ihrer aktiven Woche einteilen kann. Während also unter AQ jeweils die Hälfte der Bevölkerung ständig aktiv ist, kann die andere inaktive Hälfte eine viel strengere Isolierung aufrechterhalten als in einer PWQ. Daher ist nicht nur die Wirtschaft produktiver, wenn 50 % der Bevölkerung ständig aktiv sind, sondern auch das Ergebnis der Eindämmung ist sogar besser. AQ entspricht in etwa einer 70%igen Sperrung (blau), und 70-75% ist auch die praktische Obergrenze für jede realistische PWQ. Doch während die PWQ die Wirtschaft stark beeinträchtigt und erheblichen sozialen und psychologischen Stress verursacht, erreicht AQ einen ähnlichen Effekt bei Aufrechterhaltung einer produktiven Wirtschaft und einer teilweisen Freiheit und erträglichen Einschränkung für den Einzelnen.

Umsetzung

Aufteilung in die 2 Gruppen

Die AQ-Strategie funktioniert am besten, wenn die beiden Gruppen vollständig getrennt sind und jede Form der gruppenübergreifenden Infektion praktisch ausgeschlossen ist. Die Aufteilung sollte daher auf Haushaltsebene implementiert werden, damit sich alle Mitbewohner im gleichen Aktivitäts-/Quarantänezyklus befinden.

Eine einfache Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, die Partition auf der Wohnadresse einer Person zu basieren. Dies bietet im Falle von Mehrfamilienhäusern einen zusätzlichen Vorteil, da Nachbarn wegen der Gefahr einer Kreuzinfektion durch gemeinsam genutzte Gebäudeeinrichtungen in derselben Gruppe sind.

Jede Einzelperson/jeder Haushalt wird von ihrer/seiner örtlichen Behörde über den Quarantäneplan informiert, und parallel dazu werden die Arbeitgeber angewiesen, ihre Tätigkeit in Schichten mit jeweils nur der halben Belegschaft wiederaufzunehmen.

Bei Konflikten zwischen der zugewiesenen Schicht einer Person und ihren persönlichen bzw. arbeitgeberspezifischen Anforderungen wird von Fall zu Fall entschieden - alles unter strikter Einhaltung der haushaltsbezogenen Aufteilung.

Um die Zusammenarbeit zu fördern und die reibungslose Umsetzung von AQ zu gewährleisten, ist es am besten, so flexibel wie möglich auf alle individuellen Wünsche einzugehen.

Die resultierenden Gruppen werden nach der Berücksichtigung solcher Wünsche wahrscheinlich von einem exakten ausgeglichenen Schnitt abweichen. Die Aufteilung muss allerdings nicht perfekt sein, da die Gruppen zwar entkoppelt, aber nicht unbedingt gleich groß sein müssen. Daher gibt es viel Spielraum, um flexibel auf spezifische Einschränkungen oder besondere Bedürfnisse einzugehen, damit die psychologische und sozioökonomische Belastung so weit wie möglich gemildert wird.

Im Abschnitt Methoden skizzieren wir ein Aufteilungsschema, das für eine regionale oder landesweite Umsetzung geeignet ist (siehe Voll-Version).

Soziale Akzeptanz

Um die Bevölkerung für eine Zusammenarbeit zu gewinnen, muss zunächst der Grundgedanke hinter AQ, seine potenzielle Wirksamkeit und die für einen schnellen Erfolg erforderliche individuelle Regeleinholung kommuniziert werden. Dies appelliert an die individuelle Motivation der Menschen, eine entscheidende Komponente der Zustimmung, die aber aufgrund des Mangels an Gemeinschaftsbewusstseins oft nicht ausreicht.

Während des Lockdown-Zyklus muss die unter Quarantäne gestellte Gruppe eine Woche lang zu Hause bleiben, was zwar eine Herausforderung darstellt, aber aufgrund der zeitlichen Begrenzung deutlich weniger belastend ist als eine mehrwöchige Quarantäne.

Weitere Details in der Voll-Version.

Trotz eines detaillierten Umsetzungsplans ist ein gewisses Maß an Verstößen gegen die AQ-Regelung unvermeidlich. Dies liegt entweder an mangelnder Einhaltung durch einzelne Personen, oder daran, dass bestimmte systemrelevante Personen wichtige Positionen nicht eine ganze Woche lang verlassen können. Daher führen wir nun eine Fraktion f von Regelbrechern und systemrelevanten Personen ein, die zu jeder Zeit aktiv bleiben, sowohl während ihrer aktiven Woche als auch während ihre Gruppe unter Quarantäne steht. Dieser f -Anteil wird aus nicht-symptomatischen (S, E, IAS) oder leicht symptomatischen (IM) Personen bestehen, die ihren Zustand verbergen können.

Ausgeschlossen sind jedoch Personen mit schweren Symptomen (IS, IC, H, V), die natürlich isoliert bleiben.

Unsere Berechnung ergibt, dass AQ bis zu einem Nonkonformitätsniveau von 20% (Abb. 7d-f) kaum schlechtere Effekte hat. Über 20% sieht man einen signifikanten Rückgang der Effektivität der Strategie.

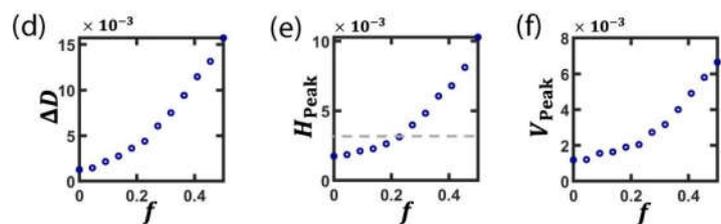


Abb. 7: Auswirkung von Regelverstößen

Diskussion

Die Effizienz der AQ-Strategie beruht auf drei Prinzipien:

- (i) Die Aufteilung der Population in zwei Gruppen reduziert das Volumen der infektiösen Interaktionen, vergleichbar mit einer 50%igen Quarantäne (HQ).
- (ii) Das Arbeiten in wöchentlicher Folge reduziert die Gesamtdauer der Interaktionen innerhalb jeder Gruppe, vergleichbar mit einer intermittierenden Quarantäne (IQ).

Die Kombination dieser beiden Faktoren ermöglicht ein ähnliches Nettovolumen an sozioökonomischer Aktivität wie bei jeder dieser Strategien, HQ oder IQ, jedoch mit einem vervielfachten Milderungseffekt. Während (i) und (ii) unabhängig von der Nachfolgeperiode sind, z.B. täglich oder wöchentlich, bietet unser Design von AQ um wöchentliche Wechsel einen dritten Vorteil:

- (iii) Es synchronisiert die Quarantänephase mit der vermuteten Inkubationszeit jeder Gruppe, wodurch die unsichtbaren SARS-CoV-2-Ausbreiter systematisch herausgefiltert werden. Eine solche Synchronisation kann leicht auf andere Infektionen verallgemeinert werden, indem die AQ-Periodizität entsprechend angepasst wird.

AQ kann als Ausstiegsstrategie nach einer Periode des Lockdowns durch PWQ eingesetzt werden. Sie ermöglicht eine allmähliche Wiederbelebung einer schlafenden Wirtschaft, während das Risiko eines erneuten Ausbruchs minimiert wird. Sie kann aber auch als primäre Eindämmungsstrategie dienen mit vergleichbaren Auswirkungen wie eine strenge PWQ (Abb. 6).

AQ sollte mit ergänzenden Maßnahmen wie Tests und selektivem Schutz gefährdeter Populationen weiter verstärkt werden.

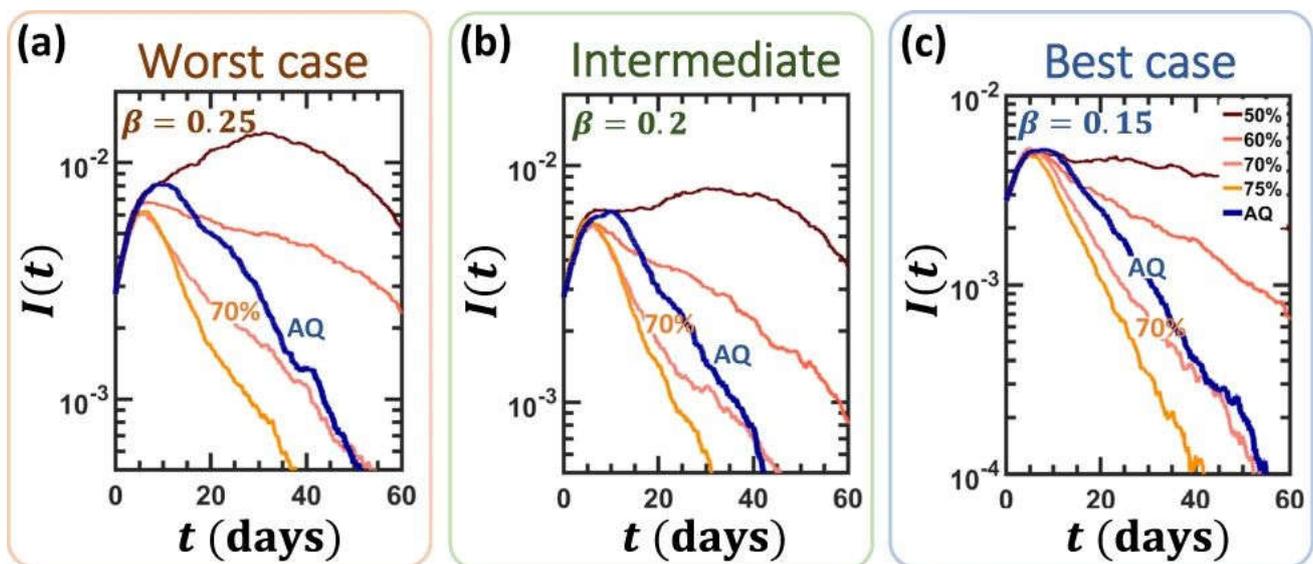


Abb. 6: Alternierende Quarantäne im Vergleich zu Lockdown (PWQ 50-75%)

Eine entscheidende Stärke der AQ ist ihre Robustheit gegenüber bis zu 20 % Übertretern. Während ein kompletter Lockdown für den Einzelnen extrem stressbelastend ist, entspannt AQ-Routine die Belastung und kann die Akzeptanz fördern. Die wöchentliche Erleichterung kann das Kooperationsniveau erhöhen.

Die Umsetzung von AQ bei Arbeitsplätzen und Schulen, die ohnehin in aufgeteilten Schichten zu arbeiten gewohnt sind, sollte relativ einfach sein. Freizeitaktivitäten im Freien tragen ohnehin nur wenig zum Infektionsgeschehen bei.

Wir haben hier vor allem die epidemiologischen Vorzüge der AQ und ihre Umsetzung in groben Zügen als nationale Strategie diskutiert. In der Praxis werden unterschiedliche Gesellschaften sowie unterschiedliche Wirtschaftssektoren spezifische Anpassungen erfordern. Während AQ zum Beispiel mit jenen Betrieben kompatibel ist, in denen Arbeiter willkürlich in Schichten eingeteilt werden können, wird es bei anderen Betrieben, in denen Schlüsselpersonal unersetzlich sein kann, zu einer größeren Herausforderung. Spezifische Lösungen müssen daher auf die verschiedenen Wirtschaftszweige und Branchen zugeschnitten werden. Angesichts des eindeutigen Vorteils von AQ sind wir der Meinung, dass solche Anpassungen auf jeden Fall die Mühe wert sind.

Methoden

Siehe Vollversion.