

ABSCHLUSSBERICHT

Wirksamkeit und Wirkung von anti-epidemischen Maßnahmen
auf die COVID-19-Pandemie in Deutschland (StopptCOVID-
Studie)

Förderkennzeichen: ZMVI1-2520COR410

Projektleitung: RKI, Abt3 Infektionsepidemiologie

Projektmitarbeitende: Dr. Matthias an der Heiden, Andreas Hicketier, PD Dr. Viviane Bremer

Kooperationspartner: Prof. Dr. Bozorgmehr, Dr. Diogo Costa, Sven Rohleder (Universität Bielefeld, School of Public Health)

Erscheinungsdatum: 20.07.2023

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	4
1. Zusammenfassung.....	5
2. Einleitung	7
Fragestellungen des Projekts	7
Fragestellungen und Ziele	9
Ziele StopptCOVID	9
Methoden.....	10
Ergebnisse.....	28
Diskussion der Ergebnisse	49
3. Literaturverzeichnis	52
4. Anhang	54
COVID-19 Pandemic Policy Monitor (COV-PPM)	54
Europäische Analyse der NPI	56
Sozioökonomische Analyse.....	59
5. Abbildungsverzeichnis.....	62
6. Tabellenverzeichnis	63
Impressum.....	64

Abkürzungsverzeichnis

95%-Krl	95%-Kredibilitätsintervall
95%-KI	95%-Konfidenzintervall
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
COVID-19	<i>coronavirus disease 2019</i>
COV-PPM	COVID-19 Pandemic Policy Monitor
DAG	directed acyclic graph
GLM	generalisiertes lineares Modell
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IRR	incidence rate ratio
MNB	Mund-Nase-Bedeckung
NPI	non-pharmaceutical interventions, nicht-pharmazeutische Infektionsschutzmaßnahmen
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
OR	Odds Ratio
aOR	adjustiertes Odds Ratio
PCR	Polymerase-Kettenreaktion (polymerase chain reaction)
RKI	Robert Koch-Institut
R-Wert	Reproduktionswert
SARS-CoV	<i>Severe acute respiratory syndrome coronavirus</i>
SARS-CoV-2	<i>Severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2</i>

1. Zusammenfassung

Die getroffenen Maßnahmen zur Kontrolle von Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus Type 2 (SARS-CoV-2) haben während der Coronavirus Disease 2019-(COVID-19-)Pandemie zu starken Einschränkungen des öffentlichen Lebens in Deutschland geführt. Das übergeordnete Ziel des Projekts StopptCOVID bestand darin, die Evidenzgrundlage für die Beurteilung der Effektivität verschiedener antipandemischer, nicht-pharmazeutischer Maßnahmen (NPI) zu verbessern. Dabei war die Frage, inwiefern verordnete Maßnahmen einen Anstieg der COVID-19-Inzidenz bremsen konnten.

Zusätzlich wurde die Wirksamkeit der NPI auf europäischer Ebene sowie der Zusammenhang zwischen COVID-19-Inzidenz und dem Deprivationsscore der Kreise sowie dem Anteil der Bevölkerung mit ausländischer Staatsangehörigkeit untersucht. Die Ergebnisse der Analyse der Wirksamkeit der NPI auf europäischer Ebene und des Einflusses der sozioökonomischen Deprivation und Migration auf die COVID-19 Inzidenz werden in diesem Bericht lediglich zusammenfassend dargestellt.

Der Fokus des vorliegenden Berichts liegt auf der Analyse der Wirksamkeit der NPI in Deutschland.

Methoden

Der Einfluss der NPI auf den effektiven Reproduktionswert (R-Wert) der COVID-19-Epidemie in Deutschland wurde anhand eines Regressionsmodells untersucht. Dazu wurden NPI Daten auf Ebene der Landkreise verwendet, die vom Institut für angewandte Sozialwissenschaft (infas) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) dokumentiert wurden. Als Zielvariable der Analyse wurde der R-Wert gewählt, da die NPI zur Reduktion von (infektiösen) Kontakten führen und somit die Anzahl von Folgeinfektionen pro Fall verringern sollten. Die Auswertung wurde adjustiert für den Einfluss der Impfquote, der vorherrschenden Erregervarianten, sowie von Saisonalität und Schulferien. Da einige NPI zu sehr ähnlichen Zeiten verschärft und auch wieder gelockert wurden, war ihr Aktivierungsprofil stark korreliert und daher konnten sie nur als kombinierte Variablen in das Modell eingeschlossen werden.

Ergebnisse

Der Maßnahmenscore stieg deutlich zu Beginn der ersten COVID-19-Welle an und verringerte sich anschließend. Nach Beginn der zweiten COVID-19-Welle im Herbst 2020 war der Maßnahmenscore deutlich erhöht und erreichte nach dem Jahreswechsel 2020/2021 Spitzenwerte.

Die angewandten Regressionsmodelle zeigen, dass die NPI mit einer deutlichen Reduktion der COVID-19 Ausbreitung in Deutschland assoziiert waren, die je nach Strenge der NPI unterschiedlich stark ausgeprägt war. Der Effekt der NPI zeigte sich dabei bereits kurz vor dem Inkrafttreten der jeweiligen Verordnungen. Die naheliegendste Erklärung dafür ist, dass Verhaltensanpassungen in der Bevölkerung bereits vor dem Inkrafttreten der Einschränkungen erfolgten.

Diskussion

Die unterschiedlichen Modellansätze zeigen, dass einzelne Maßnahmen nicht ausreichend zur Kontrolle der COVID-19 Epidemie in Deutschland waren — dies konnte erst durch eine

Kombination von NPI in ganz verschiedenen Bereichen bewirkt werden. Einzelne NPI konnten nur im Kontext der parallel bestehenden anderen Maßnahmen bewertet werden.

Insgesamt konnten wir feststellen, dass auch weniger stark eingreifende NPI wie etwa Hygienekonzepte oder die Begrenzung der Personenzahl bei öffentlichen Veranstaltungen eine deutliche Wirkung zeigten. In der Summe aller NPI führten Verschärfungen jeweils zu einer stärkeren Reduktion der COVID-19 Ausbreitung. Inwieweit die vollständige Schließung auch in einzelnen Bereichen mit der stärksten Reduktion der Ausbreitung verbunden war, ist im Rahmen unserer Analyse schwer zu beurteilen. In einigen Bereichen könnte ein deutlich eingeschränkter Betrieb mit strengen Auflagen ähnlich gute Ergebnisse wie eine Schließung erzielen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Impfquote einen stark reduzierenden Effekt auf den R-Wert hatte. Dies führte insbesondere in der älteren Bevölkerung zu einer deutlich schwächeren dritten COVID-19 Welle. Die in unserer Studie betrachteten NPI trugen wesentlich zur Bekämpfung der Pandemie bei und verhinderten in der Zeit bis zur Entwicklung wirksamer Impfstoffe eine starke Überlastung des Gesundheitssystems.

2. Einleitung

Die ersten Fälle von COVID-19 in Deutschland wurden Ende Januar 2020 berichtet (1). Ab Mitte Februar 2020 wurden an verschiedenen Orten in Deutschland Fälle von COVID-19 berichtet (2). Bedingt durch rasch ansteigende Infektionszahlen und eine hohe Morbidität von COVID-19 wurden bereits zu Beginn der Pandemie im März 2020 die ersten Maßnahmen ergriffen, um die Transmission der Infektion zu senken und die Belastung des Gesundheitswesens zu limitieren. Da gerade zu Beginn der Pandemie weder Therapiemöglichkeiten noch Impfungen zur Verfügung standen, standen nicht-pharmazeutische Infektionsschutzmaßnahmen (NPI) zur Bekämpfung der Pandemie im Vordergrund (3).

Da die SARS-CoV-2 Infektion vor allem als Tröpfcheninfektion und über Aerosole von Mensch zu Mensch übertragen wird, war klar, dass auch Verhaltensweisen und Situationen im Alltagsleben mit einem Infektionsrisiko einhergehen können, wie zum Beispiel das Einkaufen in Geschäften, Friseurbesuche oder die Nutzung des ÖPNV. Hier stellte sich die Frage, welche Rolle die NPI in den verschiedenen Bereichen zur Kontrolle der COVID-19 Epidemie in Deutschland spielten.

In der StopptCOVID-Studie sollten neben den koordinierten Maßnahmen auf Bundesland-Ebene auch die lokal ergriffenen Maßnahmen in besonders betroffenen Gebieten zur Eindämmung der Ausbreitung berücksichtigt werden. Ebenso sollte die Rolle sozioökonomischer Faktoren für die Wirksamkeit von Maßnahmen und den Verlauf der COVID-19-Epidemie in Deutschland untersucht werden, sowie der Einfluss der Teststrategie und der Testkapazitäten in Zusammenschau mit den Maßnahmen auf Bevölkerungsebene.

Für viele Bereiche galten in Abhängigkeit vom Infektionsgeschehen teils erhebliche Einschränkungen bzw. Verbote („Lockdown“), wie beispielsweise die Schließung der meisten Geschäfte und vieler Gastronomiebetriebe oder die Maskenpflicht in Innenräumen. Diese Maßnahmen beruhten auf der Überlegung, dass jede Begrenzung von Kontakten zwischen Menschen die Ausbreitung des SARS-CoV-2 Virus verlangsamen kann. Allerdings fehlten belastbare Daten zum Infektionsrisiko in bestimmten Situationen, beispielsweise beim Einkaufen in Geschäften, so dass nicht beurteilt werden konnte, wie effektiv das Infektionsgeschehen durch die Schließung von Geschäften beeinflusst werden konnte. Das StopptCOVID-Projekt sollte mehr Evidenz schaffen und damit zur Versachlichung der teilweise kontrovers geführten Diskussionen um die Fortsetzung oder Aufhebung bestimmter Infektionsschutzmaßnahmen beitragen.

Fragestellungen des Projekts

Mit dem StopptCOVID-Projekt sollten Daten für evidenzbasierte Entscheidungen über geltende Infektionsschutzmaßnahmen generiert werden. Dafür wurden folgende Fragestellungen betrachtet:

- Welche Maßnahmen schützen vor einer SARS-CoV-2-Infektion bzw. COVID-19-Erkrankung und haben die Anzahl der Folgeinfektionen verringert?
- Welche populationsbezogenen Maßnahmen haben (alleine oder in Kombination mit anderen) einen messbaren Effekt auf das pandemische Geschehen und welche eine eher schwache Auswirkung?

Das StopptCOVID-Gesamtprojekt bestand aus zwei sich ergänzenden Teilprojekten, die mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt wurden: Die CoViRiS-Fallkontrollstudie (Corona-Virus Risiko- und Schutzfaktoren im Alltag in Deutschland) und die StopptCOVID Analyse.

Ein Überblick über die Projektstruktur ist in Abbildung 1 dargestellt.

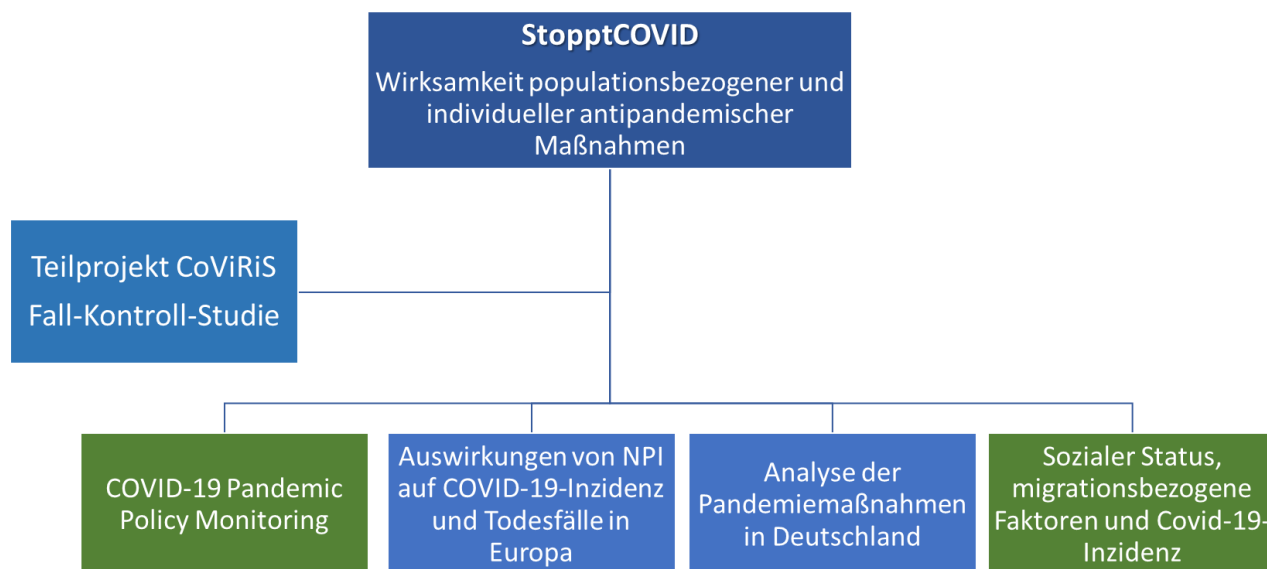


Abbildung 1: Projektstruktur StopptCOVID

Innerhalb von StopptCOVID wurde untersucht, inwiefern verordnete Maßnahmen einen Anstieg der COVID-19-Inzidenz in Deutschland bremsen konnten. **Der folgende Bericht fokussiert sich auf die Analyse der Wirksamkeit der NPI in Deutschland**

Zusätzlich wurde durch die Universität Bielefeld der „Covid-19 Pandemic Policy Monitor“ (COV-PPM) erstellt, die Wirksamkeit der NPI auf europäischer Ebene sowie der Zusammenhang zwischen COVID-19-Inzidenz und dem Deprivationsscore der Kreise sowie dem Anteil der ausländischen Bevölkerung untersucht. Zusammenfassungen der Ergebnisse der Analyse der Wirksamkeit der NPI auf europäischer Ebene und des Einflusses der sozioökonomischen Deprivation und Migration auf die COVID-19 Inzidenz sind im Anhang dieses Berichtes zu finden (s. S. 54).

Fragestellungen und Ziele

Im Zuge der COVID-19-Pandemie wurden in Deutschland weitreichende NPI auf Bevölkerungsebene durchgeführt. Inwieweit und in welchem Ausmaß diese NPI zu einer Verringerung der Anzahl von COVID-19-Folgefällen geführt haben, war unklar (4). Es war allerdings davon auszugehen, dass der exponentielle Anstieg der COVID-19-Fälle ohne die Implementierung von NPI zu einer massiven Überlastung des Gesundheitssystems geführt hätte, wie auch verschiedene Modellrechnungen gezeigt hatten (5, 6). Dennoch gab es wenig Evidenz aus vorhergehenden Epidemien, die die genaue Wirkung der NPI nachvollziehbar machte. Die bestehenden Modellrechnungen basierten zumeist auf Daten mit hohem Aggregationsniveau (z.B. der nationalen Ebene). Es war weiterhin unklar, welche Kombination von Faktoren zu einem Wiederanstieg der Fallzahlen führen könnte. Insofern war es von großer Bedeutung, in längsschnittlichen Analysen die Wirkung der NPI, sowie die Wirkung der Lockerung der NPI in Bezug auf den Verlauf der COVID-19-Epidemie zu evaluieren.

Die Universität Bielefeld hat seit Beginn der Pandemie ein Monitoringsystem für die NPI auf Ebene der 16 Bundesländer und teilweise auf Landkreisebene entwickelt. Dabei wurden wöchentlich die neuen NPI tagesgenau erfasst und kategorisiert. Zudem erfasste eine Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft unter Durchführung des Forschungsinstituts infas die verordneten Maßnahmen auf Kreisebene retrospektiv.

Wie im §5 Abs. 9 Infektionsschutzgesetz (IfSG) vorgesehen, hat das BMG eine externe Evaluation zu den Auswirkungen der antipandemischen Vorschriften im Rahmen der COVID-19-Pandemie veranlasst. Die Evaluation wurde durch unabhängige Sachverständige durchgeführt und das Ergebnis der Evaluierung wurde der Bundesregierung am 30. Juni 2022 vorgelegt. Im Evaluationsbericht wurde bemängelt, dass eine koordinierte Begleitforschung während der Corona-Pandemie in Deutschland unterblieben sei (7). Die hier durchgeführte Studie trägt dazu bei, die Evidenz- und Datenlage zu diesem Thema durch systematische Analysen zu verbessern. Gleichwohl ist anzumerken, dass sowohl Begrenzungen der Laufzeit des Projekts als auch der zur Verfügung stehenden Mittel und Daten eine vollumfängliche Evaluation der verschiedenen Aspekte in diesem Themenfeld nicht zuließen.

Ziele StopptCOVID:

- Erfassung und Beschreibung der eingeführten NPI auf Bundesland- und Kreis-Ebene
- Vergleich des Zeitpunktes der eingeführten NPI mit dem Verlauf der Anzahl der gemeldeten COVID-19 Fälle nach Erkrankungsbeginn pro Bundesland und für ausgewählte Landkreise, getrennt nach Altersgruppe
- Vergleich des Zeitpunktes der eingeführten NPI nach Bundesland mit dem geschätzten Verlauf der effektiven Reproduktionszahl R
- Vergleich des Zeitpunktes der Lockerung von NPI mit dem Verlauf der Anzahl der gemeldeten COVID-19 Fälle nach Erkrankungsbeginn und dem Verlauf der effektiven Reproduktionszahlen pro Bundesland, getrennt nach Altersgruppe
- Analyse der Auswirkung von NPI aus verschiedenen Bereichen auf die Ausbreitung von COVID-19 in Deutschland.

Methoden

Zunächst wurde mittels eines ‚directed acyclic graph‘ (DAG) ein Kausalmodell für die wichtigsten Faktoren konstruiert, aus deren Zusammenspiel sich der Verlauf der COVID-19-Pandemie in Deutschland ergab (Abbildung 2). Aufgrund der effektiven Mensch-zu-Mensch-Übertragung des SARS-CoV-2 Virus, vor allem als Tröpfcheninfektion und über Aerosole, spielt die durchschnittliche Zahl von Folgeinfektionen, die sogenannte Reproduktionszahl (R-Wert) eine zentrale Rolle. Ist der R-Wert größer als eins, so führt das zu einem exponentiellen Anstieg der Fallzahlen. Beispielsweise führt ein R-Wert von 2 jeweils zur Verdopplung der Anzahl von neuen COVID-19 Fällen in einer Generationszeit, also der durchschnittlichen Zeit zwischen der Infektion eines Falls und der Infektion der von ihm ausgehenden Folgefälle. Bei einer Generationszeit von 4 Tagen verdoppelt sich die 7-Tage-Inzidenz demnach jeweils innerhalb von 4 Tagen. Ist dagegen der R-Wert kleiner als eins, sinken die Fallzahlen und die Zahl der neuen Fälle halbiert sich innerhalb gewisser Zeiträume. Dieser Prozess wird durch Faktoren modifiziert, die die durchschnittliche Zahl von Folgeinfektionen einer SARS-CoV-2-Infektion relevant verändern. Neben den NPI ist die Saisonalität der Übertragung relevant. Bei niedrigeren Außentemperaturen kommt es zu mehr Übertragungen, wobei virale Faktoren, z.B. die Länge der Persistenz des Virus außerhalb des Körpers, und wirtsbezogene Faktoren, z.B. der häufigere Aufenthalt in Innenräumen, eine wichtige Rolle spielen. Darüber hinaus ist relevant, welche SARS-CoV-2-Variante zirkuliert. Beispielsweise führten die Alpha- und Delta-Variante zu deutlich höheren R-Werten als der Wildtyp und konnten sich daher gegenüber dem Wildtyp durchsetzen. Schließlich spielt auch die Impfung gegen SARS-CoV-2 eine wichtige Rolle, da sich durch die Impfung das Risiko einer Infektion mit dem Wildtyp, sowie den Alpha- und Delta-Varianten deutlich reduziert.

Als Zielvariable unserer Analyse wurde der R-Wert gewählt, da die NPI in erster Linie zur Reduktion von (infektiösen) Kontakten führen und somit die durchschnittliche Anzahl von Folgeinfektionen pro Fall verringern sollten. Damit würden sie also zu einer Reduktion des R-Werts bzw. des exponentiellen Trends der Anzahl neuer COVID-19 Fälle führen.

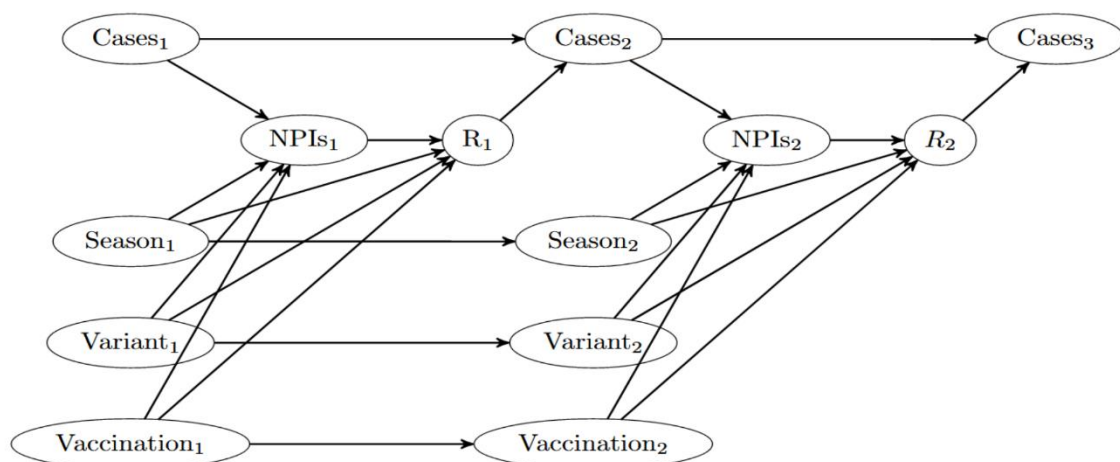


Abbildung 2: Directed acyclic graph (DAG), auf dessen Grundlage das Modell erstellt wurde (StopptCOVID). Die Zahlen bezeichnen aufeinander folgende Zeitpunkte. Pfeile zeigen die mögliche kausale Einwirkung an. Die Abbildung ist exemplarisch für die Situation in einem Bundesland.

Eine weitere günstige Eigenschaft des R-Werts als Zielvariable ist, dass er deutlich unabhängiger von der Teststrategie ist als die 7-Tage-Inzidenz, da er als Quotient zweier nur wenige Tage auseinander liegender Werte der 7-Tage-Inzidenz gebildet wird. Innerhalb dieser kurzen Zeit änderte sich typischerweise die Dunkelziffer nur wenig und daher sind die R-Werte auch über längere Zeiten hinweg gut vergleichbar. Dagegen ist die 7-Tage-Inzidenz beispielsweise in der ersten Welle anders zu beurteilen ist als in den nachfolgenden Wellen, da hier die Testkapazität erst aufgebaut werden musste. Aus dem DAG in Abbildung 2 ergab sich, dass die Analyse der Effekte der NPI auf den R-Wert für Saisonalität, die hauptsächlich zirkulierenden Virusvarianten und die Impfung gegen SARS-CoV-2 adjustiert werden musste.

Der R-Wert wurde definiert als 4-Tages-Wachstumsrate der 7-Tage-Inzidenz, die anhand der gemäß IfSG an das Robert Koch-Institut gemeldeten COVID-19-Fälle täglich berechnet wurde. Es ergibt sich also folgende Formel zur Berechnung

$$R_t := \frac{\# \text{neue Fälle}_{(t-6,t)}}{\# \text{neue Fälle}_{(t-10,t-4)}}$$

Um die Einschätzung der zeitlichen Effekte auf den R-Wert zu verbessern, wurde anstelle der gemeldeten 7-Tage-Inzidenz die 7-Tage-Inzidenz nach dem Erkrankungsbeginn gewählt. Abbildung 3 zeigt einen Vergleich der beiden Zeitreihen. Es zeigt sich, dass beispielsweise nach dem Jahreswechsel 2020/21 (rechts von der vertikalen schwarzen Linie) ein künstlicher Peak aufgrund von Nachmeldungen entstanden ist, der in der Zeitreihe nach dem Erkrankungsbeginn nicht gebildet wird. Insgesamt liegt der Verlauf der vom Erkrankungsbeginn ausgehenden 7-Tage-Inzidenz erwartungsgemäß einige Tage vor dem Verlauf der 7-Tage-Inzidenz nach Meldedatum. Bei COVID-19-Fällen mit unbekanntem Erkrankungsbeginn wurden die Werte mit Hilfe einer multiplen Imputation geschätzt, bei der der fehlende Erkrankungsbeginn aus der Verteilung der bekannten Werte von Fällen gleichen Geschlechts und gleicher 20-Jahres-Altersgruppe, die innerhalb des gleichen 2-Tages-Zeitraums gemeldet wurden, gezogen wurde. In der Folge betrachten wir ausschließlich die 7-Tages Inzidenz nach Erkrankungsbeginn und bestimmen die R-Werte stets aus dieser.

Für die Datenanalyse wurden die Tage in Bundesländern ausgeschlossen, in denen entweder der Nenner oder der Zähler des R-Werts kleiner als 1 waren. So konnten sehr instabile R-Werte bei niedrigen Fallzahlen aus der Analyse ausgeschlossen werden. Dies betraf 105 Tageswerte und zwar in allen Bundesländern die vier Tage vom 01.03. bis 04.03.2020 (insgesamt 64 Tageswerte) und dann vor allem Mecklenburg-Vorpommern, wo an 35 weiteren Tagen im späten Frühling und Anfang des Sommers 2020 der R-Wert wegfiel.

Um die Qualität der Daten zu verbessern, wurde bei fehlender Information zu NPI am 1. März 2020 alle NPI auf das niedrigste Niveau gesetzt. Danach wurden Lücken in der Dokumentation der NPI mit dem letzten verfügbaren früheren Wert aufgefüllt (last observation carried forward).

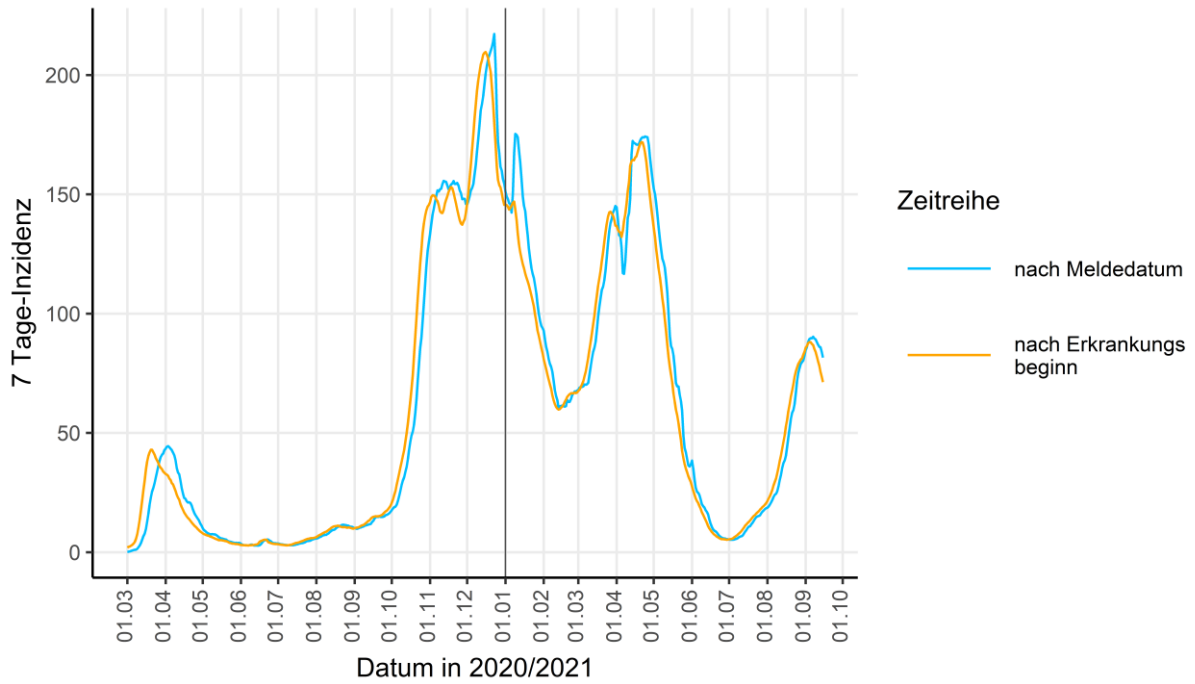


Abbildung 3: Vergleich des Verlaufs der 7-Tage-Inzidenz nach Meldedatum und nach Erkrankungsbeginn im Analysezeitraum in Deutschland. Die vertikale schwarze Linie kennzeichnet den Jahreswechsel 2020/21.

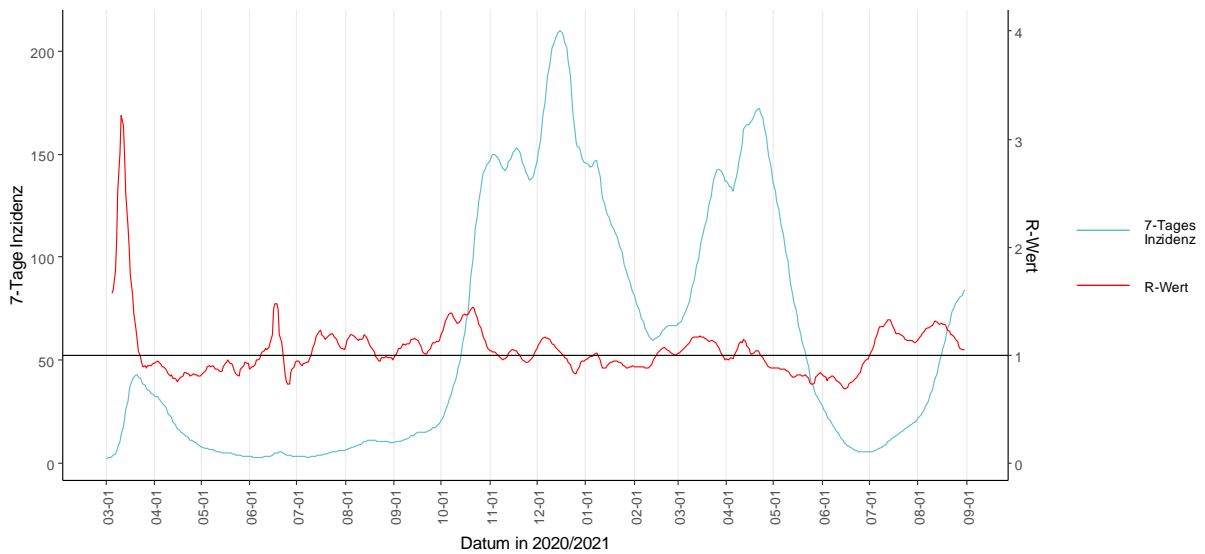


Abbildung 4: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des R-Werts im Analysezeitraum in Deutschland.



Abbildung 5: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des logarithmischen R-Werts im Analysezeitraum in Deutschland.

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen den Verlauf der 7-Tage-Inzidenz im Vergleich zum Verlauf des R-Werts und des logarithmierten R-Werts in Deutschland. In Zeiten steigender 7-Tage-Inzidenz liegt der R-Wert über Eins und der logarithmierte R-Wert entsprechend über Null, in Zeiten fallender 7-Tage-Inzidenz liegt der R-Wert unter Eins und der logarithmierte R-Wert entsprechend unter Null.

Zur Analyse der Wirksamkeit der NPI wurden die zwischen dem 01.03.2020 und 31.08.2021 in Kraft getretenen Verordnungen auf Länderebene und für alle 401 Landkreise taggenau berücksichtigt. Datengrundlage war der von Infas zusammengestellte Datensatz, der auf der Corona-Datenplattform öffentlich verfügbar ist (<https://www.corona-datenplattform.de/>).

In dem von Infas zusammengestellten Datensatz waren insgesamt 23 NPI codiert (Tabelle 1). Von diesem wurden alle bis auf die Kapazitätsbeschränkungen im öffentlichen Verkehr für die Analyse verwendet. Kapazitätsbeschränkungen im öffentlichen Verkehr kamen im betrachteten Zeitraum praktisch nicht vor. Die Variablen schließen NPI in Schulen, Kindertagesstätten, der Gastronomie, im Einzelhandel, bei Dienstleistungen, im Sport, Kontaktbeschränkungen im öffentlichen und privaten Raum, die Absage von öffentlichen Veranstaltungen, Regeln am Arbeitsplatz, Abstandsregeln, das verpflichtende Tragen von Masken sowie Ausgangsbeschränkungen ein. Bei diesen Variablen stellt jeweils die Stufe 1 die Referenzkategorie dar (keine Maßnahme), Stufe 2 eine NPI auf niedrigem Niveau (etwa Auflagen wie die Einhaltung von Hygienekonzepten) und die höchste Stufe typischerweise eine Schließung oder Absage dar.

Tabelle 1: Verzeichnis der Modell-Variablen basierend auf der Dokumentation der NPI durch Infas (StopptCOVID-Studie).

Stufeneinteilung im Modell	Name bei Infas	Bedeutung
Kontakte in privaten Räumen, Stufe 2	Mo1a_020	Empfehlung Vermeidung sozialer Kontakte
Stufe 3	Mo1a_080	bis 100 Personen
Stufe 3	Mo1a_090	bis 50 Personen
Stufe 3	Mo1a_100	bis 20 Personen

Stufe 4	Mo1a_110	bis 10 Personen
Stufe 4	Mo1a_120	bis 5 Personen
Stufe 5	Mo1a_150	2 Haushalte
Stufe 5	Mo1a_130	2 Personen aus 2 Haushalten
Stufe 5	Mo1a_140	1 Haushalt u. enge Familie
Versammlungen im öffentlichen Raum, Stufe 2		
Stufe 3	Mo1b_080	bis 100 Personen
Stufe 3	Mo1b_090	bis 50 Personen
Stufe 3	Mo1b_100	bis 20 Personen
Stufe 4	Mo1b_110	bis 10 Personen
Stufe 4	Mo1b_120	bis 5 Personen
Stufe 5	Mo1b_150	2 Haushalte
Stufe 5	Mo1b_130	2 Personen aus 2 Haushalten
Stufe 5	Mo1b_140	1 Haushalt u. enge Familie
weiterführende Schulen, Stufe 1		
Stufe 2	Mo2a_010	Keine Beschränkung
Stufe 2	Mo2a_020	Vollständige Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 3	Mo2a_030	Eingeschränkte Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 3	Mo2a_031	Zeitversetzt 1
Stufe 3	Mo2a_032	Zeitversetzt 2
Stufe 4	Mo2a_033	Selektiv 1 Abschlussklassen
Stufe 4	Mo2a_034	Selektiv 2 Jahrgangsstufen
Stufe 4	Mo2a_036	Selektiv 4 bestimmte Fächer
Stufe 5	Mo2a_035	Selektiv 3 Notbetrieb nach Elterngruppen
Stufe 5	Mo2a_040	Vollständige Schließung
Grundschulen, Stufe 1		
Stufe 2	Mo2b_010	Keine Beschränkung
Stufe 2	Mo2b_020	Volle Öffnung gem. Hygienevorschriften
Stufe 3	Mo2b_030	Eingeschränkte Öffnung gem. Hygienevorschriften
Stufe 3	Mo2b_031	Zeitversetzt 1: unterschiedliche Tage/Wochen pro Klasse bzw. Gruppe
Stufe 3	Mo2b_032	Zeitversetzt 2: unterschiedliche Zeiten an einem Tag (Schichtbetrieb) pro Klasse/Gruppe
Stufe 4	Mo2b_033	Selektiv 1: Nur Abschlussklassen und qualifikationsrelevante Jahrgangsstufen
Stufe 4	Mo2b_034	Selektiv 2: Nur bestimmte Jahrgangsstufen
Stufe 4	Mo2b_036	Selektiv 4: Unterricht nur bestimmter Fächer

Stufe 5	Mo2b_035	Selektiv 3: Nur Notbetrieb für Kinder bestimmter Elterngruppen
Stufe 5	Mo2b_040	Vollständige Schließung
Schulen, Stufe 1 bis 4	Entspricht	Grundschule, Stufe 1 bis 4
Schulen, Stufe 5	Entspricht	Grundschulen geschlossen, aber weiterführende Schulen noch geöffnet.
Schulen, Stufe 6	Entspricht	Grundschulen und weiterführende Schulen geschlossen.
Kindertagesstätten, Stufe 1	Mo3_010	Keine Beschränkung
Stufe 2	Mo3_020	Volle Öffnung gemäß Hygienevorschriften
Stufe 3	Mo3_030	Eingeschränkter Betrieb
Stufe 4	Mo3_040	erweiterte Notbetreuung
Stufe 4	Mo3_050	Notbetreuung (nur systemrelevant)
-	Mo3_060	Verbot-Kita-Betrieb
Öffentliche Veranstaltungen Indoor, Stufe 2	Mo4_050	bis 1000 Personen
Stufe 2	Mo4_060	bis 500 Personen
Stufe 3	Mo4_070	bis 200 Personen
Stufe 3	Mo4_080	bis 100 Personen
Stufe 4	Mo4_090	bis 50 Personen
Stufe 5	Mo4_100	bis 30 Pers
Stufe 5	Mo4_110	bis 20 Pers
Stufe 5	Mo4_120	bis 10 Pers
Stufe 5	Mo4_130	bis 5 Personen
Stufe 6	Mo4_140	Vollständig verboten
Öffentliche Veranstaltungen Outdoor, Stufe 2	Mo5_050	bis 5000 Personen
Stufe 2	Mo5_060	bis 1000 Personen
Stufe 3	Mo5_070	bis 700 Personen
Stufe 3	Mo5_080	bis 500 Personen
Stufe 4	Mo5_090	bis 400 Personen
Stufe 4	Mo5_100	bis 300 Pers
Stufe 4	Mo5_110	bis 200 Pers
Stufe 4	Mo5_120	bis 100 Pers
Stufe 5	Mo5_130	bis 50 Personen
Stufe 5	Mo5_140	bis 20 Pers
Stufe 5	Mo5_150	bis 10 Personen
Stufe 6	Mo5_160	Vollständig verboten
Öffentliche Veranstaltungen, Stufe 1 bis 6	Entspricht	Öffentliche Veranstaltungen Outdoor, Stufe 1 bis 6

Kultur und Bildungseinrichtungen, Stufe 2	Mo6_020	Voll. Öffnung gemäß Hygienevorschriften
Stufe 3	Mo6_030	Eingeschränkte Öffnung gemäß Hygienevorschriften
Stufe 3	Mo6_031	Begrenzung der Anzahl von Personen
Stufe 4	Mo6_032	Nur sofern im Außenbereich befindlich (Autokinos, Open-Air- Theater etc.)
-	Mo6_033	Einschränkungen beim Verkauf von Getränken und Lebensmitteln
Stufe 4	Mo6_034	Öffnung von Museen unter Auflagen
Stufe 5	Mo6_040	Voll. Schließung
Groß- und Einzelhandel, Stufe 2	Mo7_020	Vollständige Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 3	Mo7_030	Eingeschränkte Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 4	Mo7_033	Max Fläche 800qm
-	Mo7_034	Max Fläche 700qm
Stufe 4	Mo7_036	Nur bestimmte Öffnungszeiten
Stufe 5	Mo7_032	Nur kritische Versorgung inkl. Buch- und Blumenhandel
Stufe 5	Mo7_031	Nur kritische Versorgung
Stufe 5	Mo7_040	Vollständige Schließung
Gastronomie, Stufe 2	Mo8_020	Vollständige Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 3	Mo8_030	Eingeschränkte Öffnung gemäß Hygienekonzept
Stufe 3	Mo8_031	Nur zu bestimmten Zeiten geöffnet
Stufe 4	Mo8_032	Vor-Ort-Verzehr nur im Außenbereich
Stufe 5	Mo8_033	Nur Abholung
Stufe 5	Mo8_040	Vollständige Schließung
Dienstleistungen und Handwerk, Stufe 2	Mo9_020	Vollständige Öffnung gm. Hygienevorschrift
Stufe 3	Mo9_030	eingeschränkte Öffnung gm. Hygienevorschrift
Stufe 3	Mo9_031	Alles außer Prostitution
Stufe 4	Mo9_032	Verbot wenn unvermeidb. Kundenkontakt, Ausn. Friseure Nur wenn vermeidbarer Kundenkontakt u.
Stufe 5	Mo9_033	Gesundheit/Pflege
Stufe 5	Mo9_040	Vollständige Schließung

Einrichtungen des Nachtlebens, Stufe 2	M10_020	Vollständige Öffnung gemäß Hygienevorschriften
Stufe 2	M10_030	Eingeschränkte Öffnung gemäß Hygienevorschriften
Stufe 2	M10_031	Schließung von Diskotheken und Tanzlokalen. Bars sind geöffnet
Stufe 2	M10_032	Begrenzung der Pers.anzahl bei Tanzveranstaltungen
Stufe 2	M10_033	Tanzveranstaltungen nur im Außenbereich
Stufe 3	M10_040	Vollständige Schließung
Beherbergung, Stufe 2	M11_020	Touristische Beherbergung unter Auflagen möglich
Stufe 3	M11_030	Verbot touristischer Übernachtungsangebote
Stufe 3	M11_040	Vollständige Schließung
Sport Indoor, Stufe 2	M12_020	Zuschauerbeschr.
Stufe 2	M12_030	begr. Pers.anzahl u. Hygienevorschr.
Stufe 3	M12_040	begr. Pers.anzahl, nur kontaktfrei
Stufe 4	M12_070	Verbot Sportbetrieb indoor
Sport Outdoor, Stufe 2	M13_020	begr. Pers.anzahl
Stufe 3	M13_030	begr. Pers.anzahl, kontaktfrei
Stufe 4	M13_040	nur Individualsport, Sportstätten offen
Stufe 5	M13_070	nur Individualsport, Sportstätten geschlossen
Sport, Stufe 1 bis 3	Entspricht	Stufen 1 bis 3 der Variable Indoor Sport
Sport, Stufe 4	Entspricht	Stufe 4 von Indoor Sport und Outdoor Sport < 5
Sport, Stufe 5	Entspricht	Stufe 4 von Indoor Sport und Stufe 5 von Outdoor Sport
Inlandsreisen, Stufe 1	M14_010	Keine Beschränkung
Stufe 2	M14_020	Reisen nur unter bestimmten Voraussetzungen
Stufe 3	M14_030	Einreiseverbot in andere Bundesländer
Auslandsreisen, Stufe 1	M15_010	Keine Beschränkung
Stufe 2	M15_020	nur innerhalb der EU
Stufe 3	M15_030	nur in bestimmte Länder
Masken, Stufe 1	M16_010	keine Maskenpflicht

Stufe 1	M16_020	Empfehlung für Maske
Stufe 2	M16_030	Maskenpflicht im ÖPNV
Stufe 2	M16_040	Maskenpflicht in Verkaufsstätten
Stufe 3	M16_050	Maskenpflicht im öffentlichen Raum
Stufe 4	M16_060	Maskenpflicht in weiterführenden Schulen im Klassenzimmer
-	M16_070	Maskenpflicht in weiterführenden Schulen nur außerhalb von Klassenzimmer
Stufe 4	M16_080	Maskenpflicht in Grundschulen im Klassenzimmer
-	M16_090	Maskenpflicht in Grundschulen nur außerhalb von Klassenzimmer
Stufe 5	M16_100	strafbewehrte Maskenpflicht
Arbeitsplatz, Stufe 1		
Stufe 2	M17_020	Einschränkungsempfehlung (z.B. Homeoffice) & Hygienevorschriften
Stufe 2	M17_030	teilweise Schließung
Ausgangsbeschränkungen, Stufe 2		
Stufe 2	M18_030	Verlassen der Wohnung nur aus triftigem Grund
Stufe 2	M18_040	Vollständige Ausgangsbeschränkung
Abstandsregelung, Stufe 1		
Stufe 2	M20_020	Einführung von Abstandsregelung
Testen, Stufe 1		
Stufe 2	M21_020	Testpflicht bei Symptomen oder bei Verdacht auf Infektion
Stufe 2	M21_030	Testpflicht für systemrelevante Berufsgruppen
Stufe 3	M21_040	Testpflicht bei Veranstaltungen
Stufe 3	M21_080	Test-Maßnahmen in Schulen
Stufe 4	M21_050	Testpflicht bei Einreise aus Risikogebieten
Stufe 4	M21_060	Testpflicht bei allen Einreisenden aus dem Ausland
Stufe 4	M21_070	Testpflicht bei Einreise aus nicht EU-Land

Cosinus-Komponente der Saisonalität		
Sinus-Komponente der Saisonalität		
Nach den Schulferien	Entspricht	Die 5 Tage nach den Schulferien
Ostern/Weihnachten	Entspricht	Die Tage 24. bis 31. Dezember und die Osterfeiertage
Schulferien	Entspricht	Schulferien (nach Bundesland)
2. Hälfte Schulferien	Entspricht	Zweite Hälfte der Schulferien, wenn diese länger als 12 Tage sind

Um einen Überblick über die Maßnahmen insgesamt zu erhalten wurde ein Maßnahmenscore erstellt. Dieser Score gibt an, wie hoch die Summe der Stufen von verordneten NPI jeweils war. Dabei wird die Stufe 1 („keine Einschränkungen“) nicht berücksichtigt. Daher ergibt sich ein Maßnahmenscore zwischen 0 und maximal 53 Punkten.

Um die Analyse auf Ebene der Bundesländer durchführen zu können, wurden die Fallzahlen über die Landkreise aggregiert. Die Maßnahmen wurden ausgehend von binären (0/1) Variablen auf der Landkreis-Ebene bevölkerungsgewichtet gemittelt, so dass ein reeller Wert zwischen 0 und 1 entstand, der den Anteil der Bevölkerung eines Bundeslandes angibt, für den diese Maßnahme mit einer bestimmten Stärke verordnet wurde.

Die Bundesland-Ebene bot den Vorteil, dass die exponentiellen Zuwachsraten der Inzidenz auch in stabiler Weise für die Altersgruppen (0-17 Jahre, 18-59 Jahre und 60+ Jahre) bestimmt werden konnte. Für Modelle mit Altersgruppen geht der R-Wert in die sogenannte Next-Generation-Matrix über, die - ausgehend von einem Fall in einer Altersgruppe - die durchschnittliche Anzahl der Folgefälle in den verschiedenen Altersgruppen beschreibt. Da die meisten Kontakte jeweils innerhalb einer Altersgruppe stattfinden, wird diese Matrix durch ihre Diagonale dominiert. In unserer Analyse verwendeten wir ausschließlich die Diagonale dieser Matrix, die die Anzahl der Folgefälle innerhalb derselben Altersgruppe und damit den exponentiellen Trend der Fallzahlen innerhalb einer Altersgruppe beschreibt. Unter der Annahme einer konstanten Generationszeit von 4 Tagen ergibt sich also wieder der Quotient der 7-Tage-Inzidenzen der jeweiligen Altersgruppe im Abstand von 4 Tagen.

Die Variablen zu Reisebeschränkungen innerhalb Deutschlands und ins Ausland wurden nicht in die Analyse miteinbezogen, da sie im besten Fall die Ausbreitung von SARS-CoV-2 Infektionen vom Ausland nach Deutschland oder zwischen verschiedenen Bundesländern oder Landkreisen innerhalb Deutschlands verlangsamen, nicht aber die Ausbreitung innerhalb desselben Landkreises oder Bundeslandes betreffen. Die COVID-19 Epidemie wurde zu Beginn wohl vor allem durch Reiserückkehrende nach Deutschland getragen. Weitere Einträge von Infektionen in der Folge von Reisen werden im Modell berücksichtigt durch Variablen, die den Einfluss von Zeiten mit einem vermehrten Aufkommen von Reiserückkehrern quantifizieren (die zweite Hälfte der Schulferien, wenn diese länger als 12 Tagen waren, sowie die 5 Tage nach dem Ende der Schulferien).

Da manche der NPI zeitgleich in Kraft traten, verstärkt oder gelockert wurden, gibt es im Aktivierungsprofil der Maßnahmen teilweise starke positive Korrelationen. Erwartungsgemäß zeigten sich ähnliche Profile bei den Einschränkungen in Grundschulen und weiterführenden Schulen (Korrelation >75%), bei öffentlichen Veranstaltungen im Innen- und Außenbereich

(Korrelation $>85\%$), sowie bei Indoor- und Outdoor-Sport (Korrelation $>85\%$). Diese drei Paare von Bereichen wurden daher zunächst wie in Tabelle 1 beschrieben zusammengefasst. In Abbildung 6 ist eine Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verbleibenden NPI innerhalb der Stadt- und Landkreise Deutschlands dargestellt. Abbildung 7 zeigt, dass eine Korrelation über 55% vor allem zwischen den NPI in den Bereichen Dienstleistungen und Handwerk, Sport, Kultur, Beherbergung, Gastronomie und dem Groß- und Einzelhandel bestand. Korrelationen über 70% verbanden die Bereiche Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie. Diese stark korrelierten Bereiche konnten im Rahmen von statistischen Analysen nicht gleichzeitig in einem gemeinsamen Modell analysiert werden, da dies zu instabilen Schätzwerten führte. Daher konnten bei stark korrelierenden NPI nur kombinierte Variablen in das Modell eingeschlossen werden.

Für das Hauptmodell wurden zu den vier Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie folgende Informationen verwendet: (1) Wie viele dieser Bereiche waren maximal eingeschränkt (höchste Eskalationsstufe) und (2) in wie vielen dieser Bereiche galt die zweithöchste Eskalationsstufe. Als Sensitivitätsanalyse wurde analog ein Modell betrachtet, in das zusätzlich die Bereiche ‚Dienstleistungen und Handwerk‘ und ‚Groß- und Einzelhandel‘ nur über diese kombinierten Informationen eingingen, so dass dann sechs Bereiche kombiniert wurden.

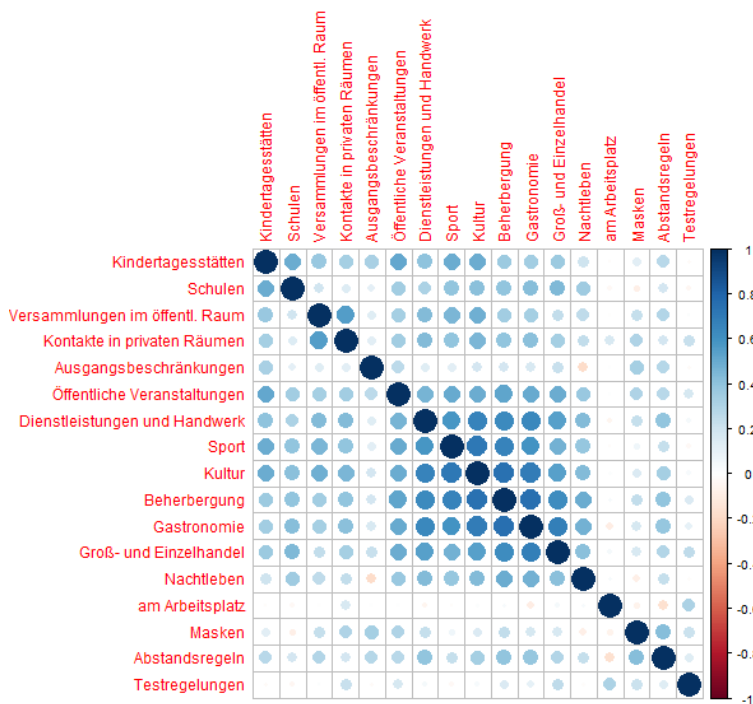


Abbildung 6: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI. Je dunkler und größer die Punkte, desto höher ist die Korrelation in der Anwendung der verschiedenen NPI.

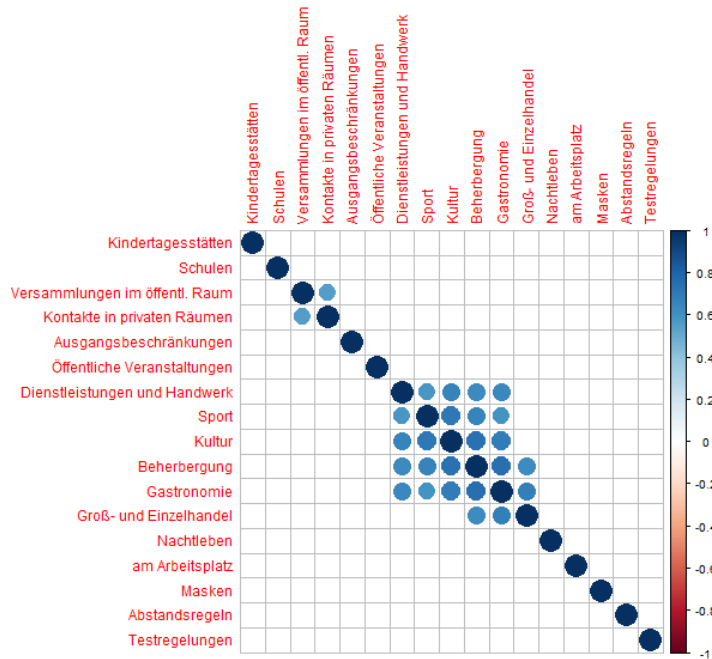


Abbildung 7: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI mit Einträgen für Korrelationen über 55%. Je dunkler und größer die Punkte, desto höher ist die Korrelation in der Anwendung der verschiedenen NPI.

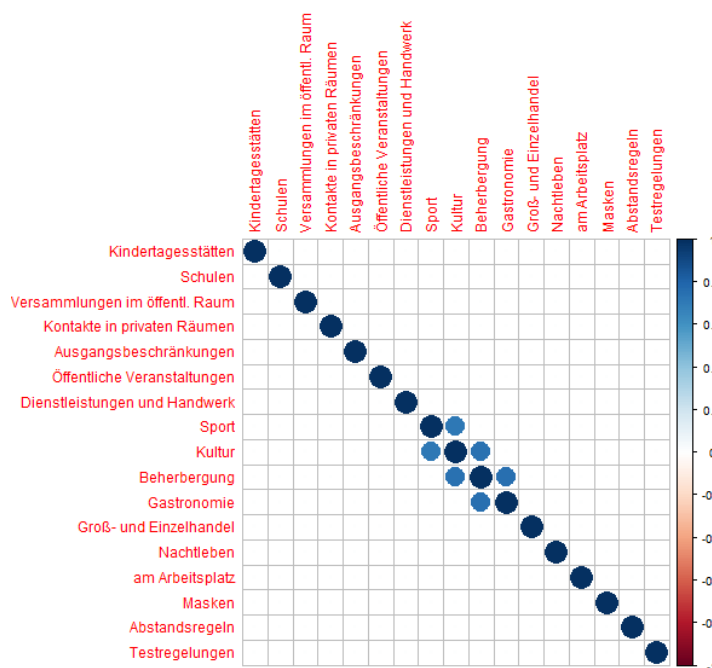


Abbildung 8: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI mit Einträgen für Korrelationen über 70%. Je dunkler und größer die Punkte, desto höher ist die Korrelation in der Anwendung der verschiedenen NPI.

Für das Hauptmodell wurden folgende 14 Bereiche unterschieden:

- Regelungen für Schulen,
- Kontakteinschränkungen in privaten Räumen,

- Regelungen am Arbeitsplatz,
- Regelungen für Kindertagesstätten,
- Einschränkungen bei Versammlungen im öffentlichen Raum,
- Regelungen für öffentliche Veranstaltungen,
- Ausgangsbeschränkungen,
- Regelungen für Groß- und Einzelhandel,
- Regelungen im Bereich Nachtleben,
- Dienstleistungen und Handwerk,
- Regelungen im Bereich Kultur, Sport, Beherbergung und Gastronomie,
- Testregelungen,
- generelle Abstandsregelungen,
- Regelungen zur Maskenpflicht.

Die jeweilige Stärke der Maßnahmen in diesen Bereichen wurden mit 2 bis 7 Stufen dargestellt (Abbildung 9).

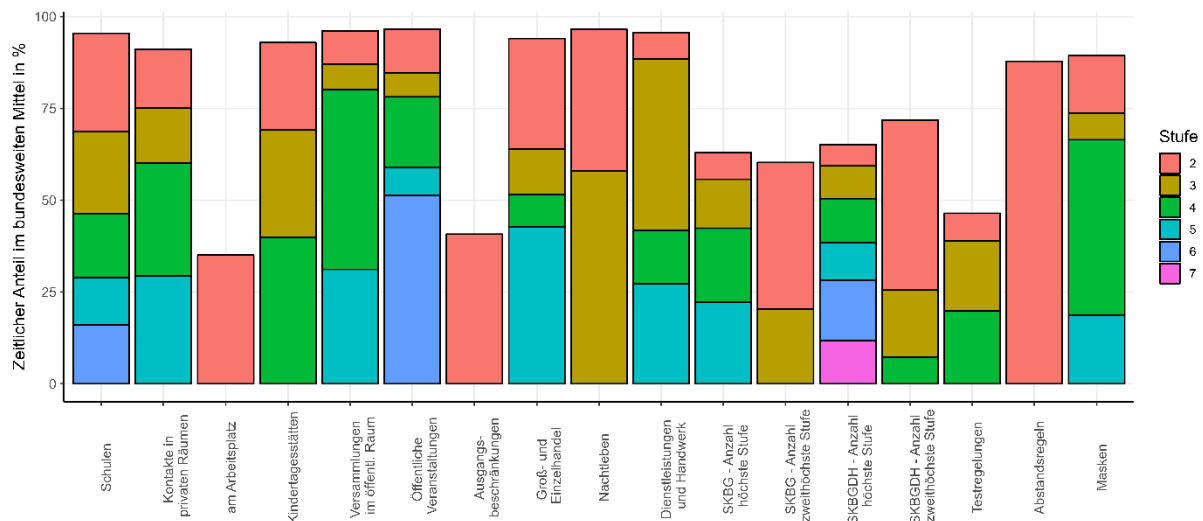


Abbildung 9: Übersicht über Bereiche, in denen NPI durchgeführt wurden. Dargestellt wird für jeden Bereich welchen zeitlichen Anteil die Maßnahmenstufen im bundesweiten Mittel im Analysezeitraum einnehmen. Der Bereich oberhalb der Balken entspricht dem zeitlichen Anteil ohne Maßnahmen (Stufe 1). SKBG bezeichnet die Kombinationsvariablen zu den vier Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie. SKBGDH bezeichnet die Kombinationsvariablen zu den vier Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung, Gastronomie, Dienstleistungen und Handwerk und Groß- und Einzelhandel.

Neben den verschiedenen NPI wurden Daten zu Impfungen, zum Anteil der Wildtyp-, Alpha- und Delta-Variante der in Deutschland nachgewiesenen SARS-CoV-2 Infektionen, zur Saisonalität sowie zu Schulferien in das Modell eingeschlossen. Die Daten zu den verabreichten Impfungen und Impfquoten auf Bundeslandebene basierten auf dem Digitalen Impfmonitoring (DIM). Für das Modell wurde aus der Impfquote für die erste und zweite Impfung in den Bundesländern ein Index bestimmt, der misst, wie oft der Anteil von ungeimpften Menschen halbiert wurde. Eine Impfquote von 50% entspricht daher dem Indexwert 1, eine Quote von 75% dem Indexwert 2 und 87,5% dem Indexwert 3. In der Analyse wurde dann bestimmt, welchen Effekt eine Halbierung der Anzahl ungeimpfter Menschen einer Altersgruppe auf den R-Wert hatte. In Abbildung 10 und Abbildung 11 wird die Impfquote bzw. der Impfindex dem Verlauf der 7-Tage-Inzidenz gegenübergestellt. Es lässt sich gut erkennen, dass der schnelle Impffortschritt

in der Altersgruppe 60+ Jahre zu einem Brechen der dritten COVID-19-Welle in dieser Altersgruppe führte. Dagegen lag in der Altersgruppe der 18- bis 59-jährigen die Impfquote auch beim Abflauen der dritten Welle noch bei unter 20%, so dass ein deutlicher Effekt der Impfung auf den R-Wert erst zu Beginn der vierten Welle sichtbar wurde. Abbildung 12 vergleicht den Impfindex mit der 7-Tage-Inzidenz in den einzelnen Bundesländern.

Die Bestimmung der Verzögerung zwischen dem Datum der Impfung und dem Effekt auf den R-Wert wurde daher anhand der Modellierung in der Altersgruppe 60+ Jahre festgelegt.

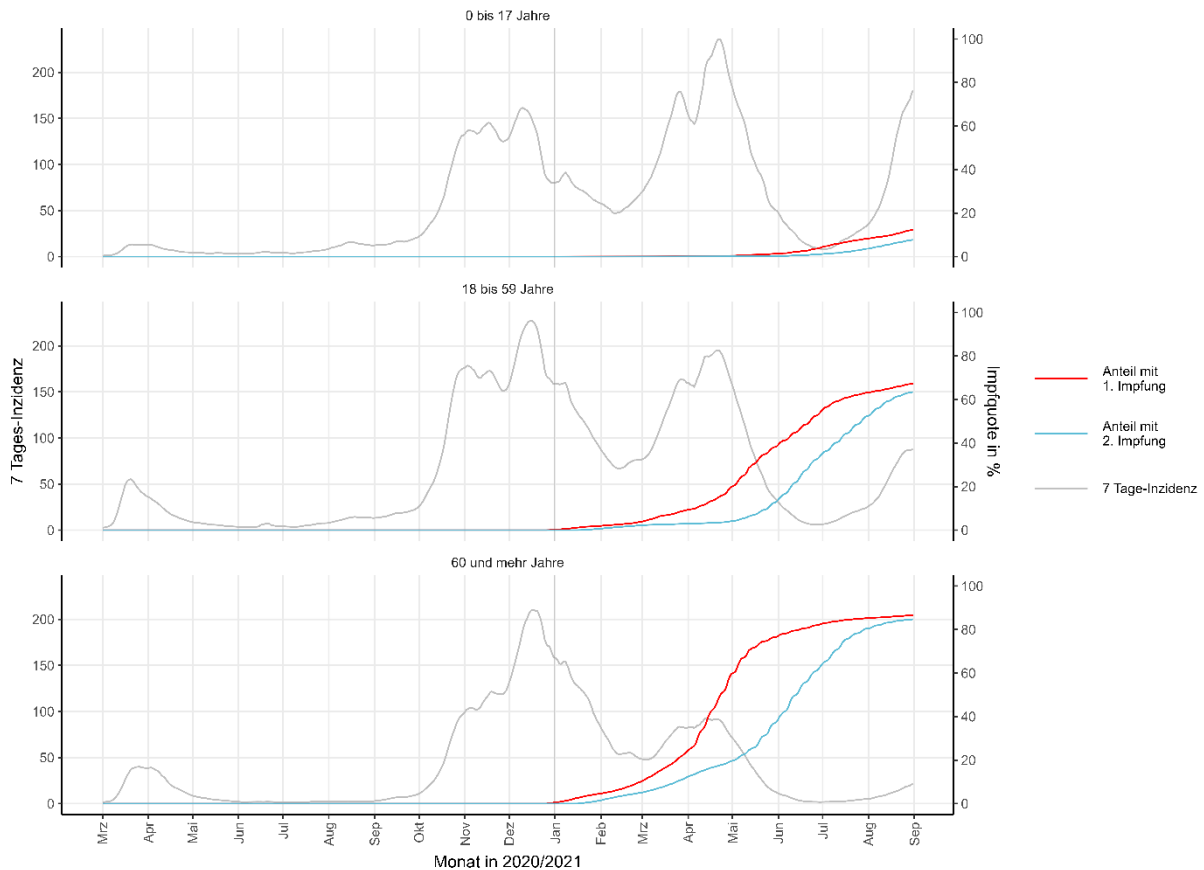


Abbildung 10: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und der Impfquote für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe im Analysezeitraum in Deutschland.

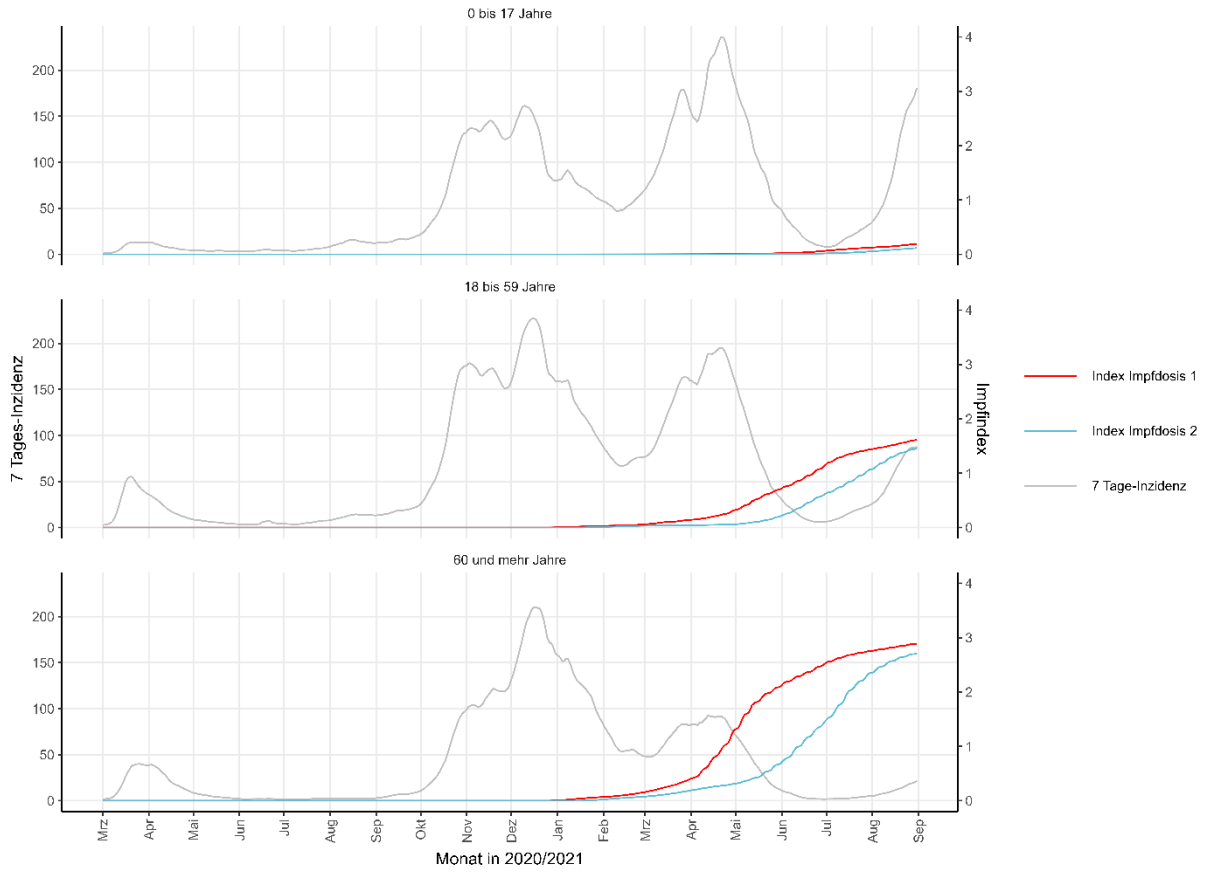
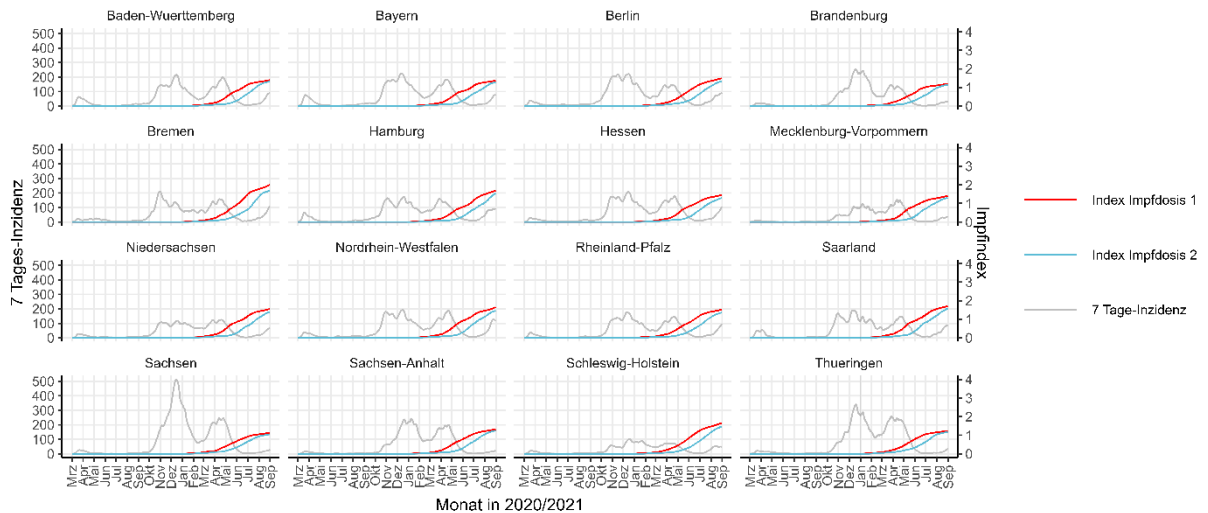
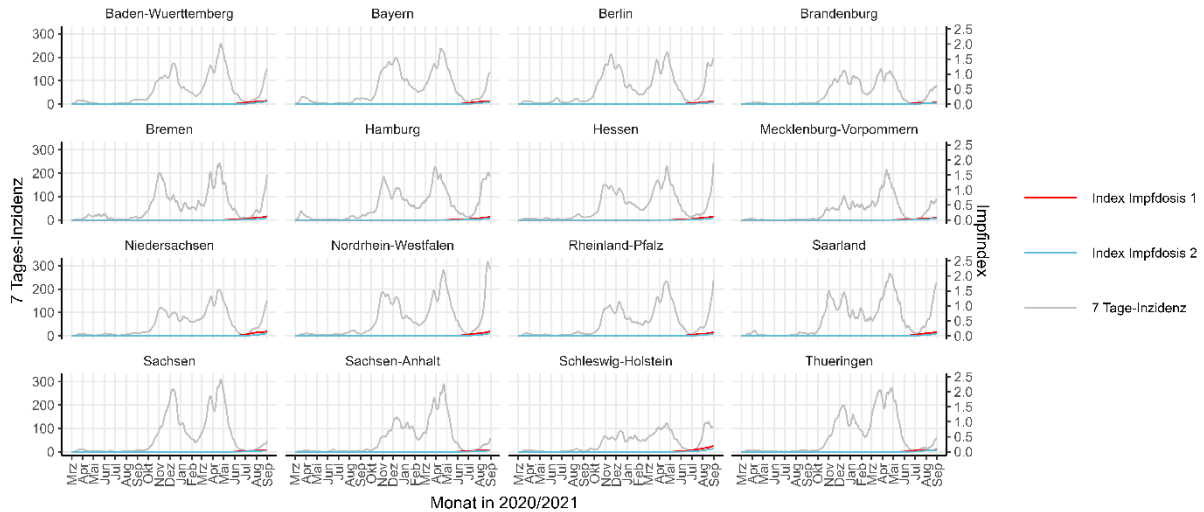


Abbildung 11: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und dem Index für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe im Analysezeitraum in Deutschland. Der Index gibt an, wie oft durch die Impfung der Anteil der noch nicht geimpften Menschen in der jeweiligen Altersgruppe halbiert wurde.

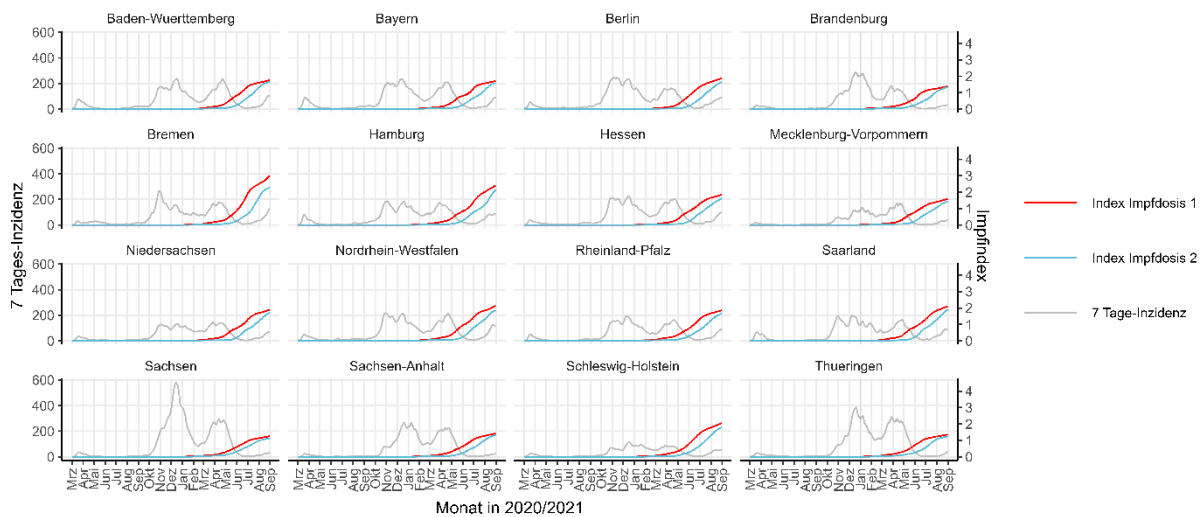
Altergruppe Gesamt



Altergruppe 0 bis 17 Jahre



Altergruppe 18 bis 59 Jahre



Altergruppe 60 und mehr Jahre

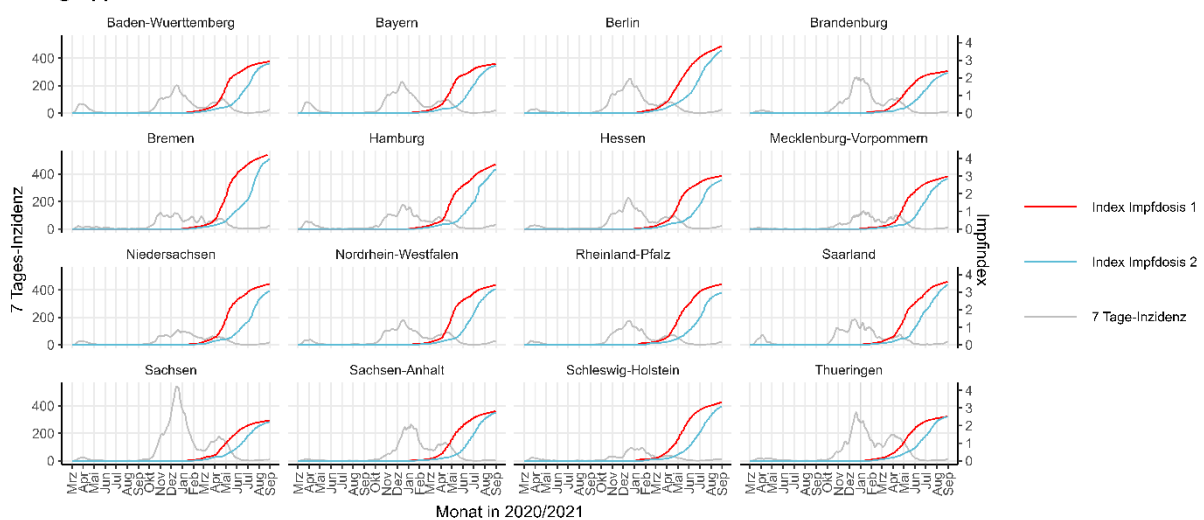


Abbildung 12: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und dem Index für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe und Bundesländern im Analysezeitraum in Deutschland. Der Index gibt an, wie oft durch die Impfung der Anteil der noch nicht geimpften Menschen in der jeweiligen Altersgruppe halbiert wurde.

Für die Variable zu den Erregervarianten wurden einheitlich für alle Bundesländer die bundesweiten wöchentlichen Daten der molekularen Surveillance des RKI genutzt (Abbildung 13).

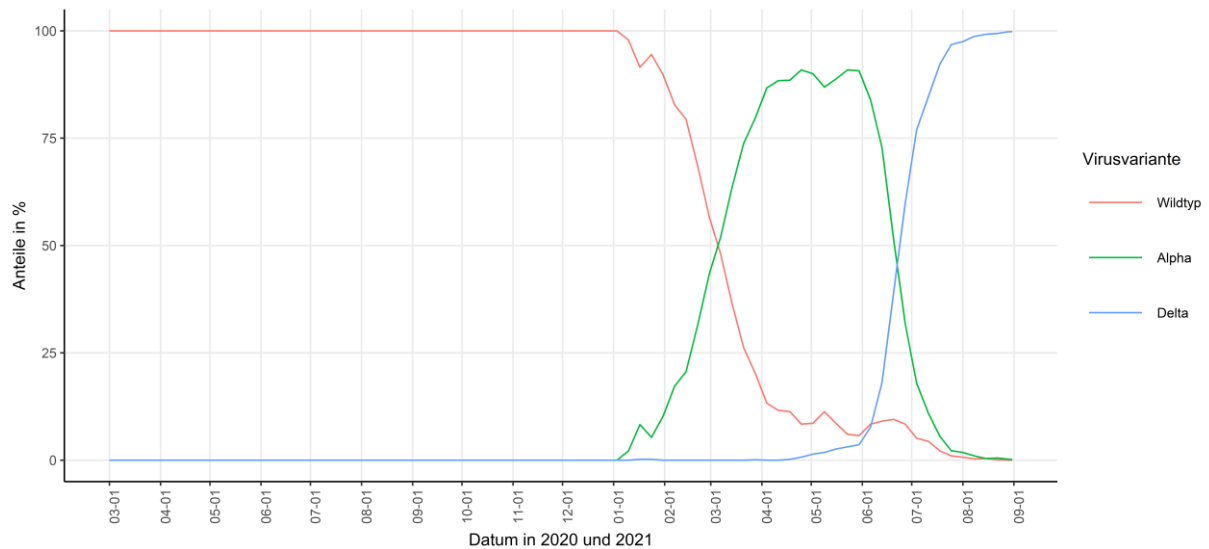


Abbildung 13: Anteil der Wildtyp-, Alpha- und Deltavarianten an sequenzierten SARS-CoV-2-Proben im Jahr 2021, integrierte molekulare Surveillance, RKI

Zur Modellierung der Saisonalität wurden Sinus- und Cosinus-Variablen mit jährlicher Periode eingefügt, die der erhöhten Übertragbarkeit von SARS-CoV-2 bei kälteren Außentemperaturen und der Verlagerung von Aktivitäten in den Innenräume Rechnung tragen sollen. Zudem wurden Variable für den Effekt von Schulferien berücksichtigt, da es, ähnlich wie bei den Schulschließungen, bei Schulferien zu einer drastischen Reduktion der Kontakte unter Kindern kommt. Auch für Effekte des besonderen Verhaltens um Weihnachten und Ostern herum wurde adjustiert.

Als Modell wurde ein lineares Modell für den Logarithmus des R-Werts, das die Rate des Zuwachses der 7-Tage-Inzidenz innerhalb von 4 Tagen misst, verwendet. Für die verordneten $NPI(m^k)_{k \in K}$ wurde der Verzug (τ Tage) zwischen dem Inkrafttreten und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert datenbasiert bestimmt. Ähnlich wurde auch der Verzug (ι Tage) zwischen dem Impfdatum und der Wirkung auf den R-Wert datenbasiert bestimmt.

Insgesamt ergab sich damit das Modell

$$\log(R_t) \sim \mathcal{N}(\mathbb{E}(\log(R_t)), \sigma^2)$$

$$\mathbb{E}(\log(R_t)) = \theta_b + \beta_1 \sin\left(2\pi \frac{t}{365}\right) + \beta_2 \cos\left(2\pi \frac{t}{365}\right) + \beta_3 v_\alpha + \beta_4 v_\delta$$

$$+ \beta_5 f(\text{Impf}_{t+\iota}) + \sum_{k \in K} \gamma_k m_{t+\tau}^k$$

Hierbei bezeichnet θ_b eine Bundesland-spezifische Konstante und β_1, \dots, β_5 sowie $(\gamma_k)_{k \in K}$ bezeichnen die zu schätzenden Koeffizienten des Modells.

Da der Effekt der SARS-CoV-2 Varianten auf den R-Wert nicht ohne Weiteres von den Effekten der Impfung, den erweiterten Textkapazitäten ab dem Sommer 2020 und auch der im Verlauf

der Pandemie weniger gut an die realen Maßnahmen angepasste Dokumentation abgegrenzt werden kann, betrachteten wir schließlich hauptsächlich ein Modell mit fixiertem Effekt der Varianten. Hierbei wurde festgelegt, dass die Alpha-Variante zu einem 30% höheren R-Wert und die Delta-Variante zu einem 60% höheren R-Wert im Vergleich zum SARS-CoV-2 Wildtyp führt.

$$\begin{aligned} \log(R_t) &\sim \mathcal{N}(\mathbb{E}(\log(R_t)), \sigma^2) \\ \mathbb{E}(\log(R_t)) &= 0.3v_\alpha + 0.6v_\delta + \theta_b + \beta_1 \sin\left(2\pi \frac{t}{365}\right) + \beta_2 \cos\left(2\pi \frac{t}{365}\right) \\ &+ \beta_3 f(\text{Impf}_{t+l}) + \sum_{k \in K} \gamma_k m_{t+\tau}^k. \end{aligned}$$

Als Sensitivitätsanalyse wurde ein generalisiertes lineares Modell mit dem R-Wert als Outcome, einer logarithmischen link-Funktion und Gamma-verteiltern Abweichungen betrachtet.

Die Analyse der R-Werte wurde mit der durchschnittlichen Anzahl von COVID-19 Fällen innerhalb der letzten sieben Tage im jeweiligen Bundesland gewichtet. Damit gingen Zeiten und Bundesländer mit einer hohen Fallzahl stärker in die Bewertung der Effektivität der Maßnahmen ein als Zeiten mit niedrigen Fallzahlen. Aufgrund des Aufbaus von Testkapazitäten in der ersten Welle ist davon auszugehen, dass die Fallzahlen in der ersten Welle im Vergleich zu den späteren Wellen unterschätzt wurden. Insofern ging der Effekt der Maßnahmen in der ersten Welle vergleichsweise schwächer in unsere Ergebnisse ein.

Verschiedene Faktoren konnten die Anzahl der gemeldeten Fälle und somit auch den R-Wert beeinflussen. Zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und der Wirkung auf den R-Wert kann ein Verzug von mehreren Tagen liegen. Dieser Verzug könnte sich je nach Maßnahme unterscheiden, da beispielsweise die Schließung einer öffentlichen Einrichtung sehr genau terminiert ist, während die Umsetzung eines Hygienekonzeptes nur ungefähr datiert werden kann. Insbesondere können die Maßnahmen aufgrund der intensiven politischen Diskussionen im Vorfeld, durch vorhergehende Ankündigung und hohen Fallzahlen bereits vor Inkrafttreten der Verordnung einen Effekt auf die Infektionsdynamik und damit den R-Wert haben.

Da die Größe des zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert nicht bekannt war, wurde datenbasiert unter Verwendung des Akaike Informationskriteriums (AIC) der Verzug gewählt, der die beste Reproduktion des beobachteten Verlaufs des R-Werts erlaubte.

In dem Modell wurde eine über den Analysezeitraum zwischen dem 01.03.2020 und 31.08.2021 gleichbleibende Wirkung der Maßnahmen auf den R-Wert angenommen. Um diese Annahme auf Plausibilität zu untersuchen, wurden das gleiche Modell auch für Teilzeiträume betrachtet. Dabei wurden folgende Zeiträume betrachtet: Zeitraum 1 (01.03. bis 01.05.2020) beschreibt die erste COVID-19 Welle, Zeitraum 2 (01.03. bis 01.10.2020) die erste Welle und den Sommer 2020, Zeitraum 3 (01.03.2020 bis 15.02.2021) die ersten beiden Wellen und Zeitraum 4 (01.03.2020 bis 01.07.2021) die ersten drei COVID-19 Wellen. Diese Zeiträume begannen stets am 01.03.2020, da die spontane Ausbreitung von SARS-CoV-2 nur am Anfang des Analysezeitraums beobachtbar war. Insbesondere waren in den meisten Bereichen auch nur am Anfang des Analysezeitraums keinerlei Einschränkungen verordnet.

Ergebnisse

Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen den Verlauf des Maßnahmenscores. Er zeigt einen deutlichen Anstieg zu Beginn der ersten COVID-19-Welle auf im Mittel über 41 Punkte, in einzelnen Bundesländern auf über 48 Punkte. Danach bleibt der Maßnahmenscore auch in Zeiten mit niedrigen 7-Tage-Inzidenzen im Mittel bei über 24 und über alle Bundesländer hinweg immer über einem Wert von 17. Nach Beginn der zweiten COVID-19-Welle im Herbst 2020 zeigt sich eine deutliche Erhöhung des Maßnahmenscores. Zunächst bleiben die Werte dabei im Mittel noch etwas niedriger als die Spitzenwerte während der ersten Welle, steigen dann aber Mitte Dezember 2020 weiter an und erreichen nach dem Jahreswechsel 2020/2021 im Mittel Spitzenwerte von über 48 Punkte, in einzelnen Bundesländern Spitzenwerte über 51 Punkte (von 53 möglichen Punkten).

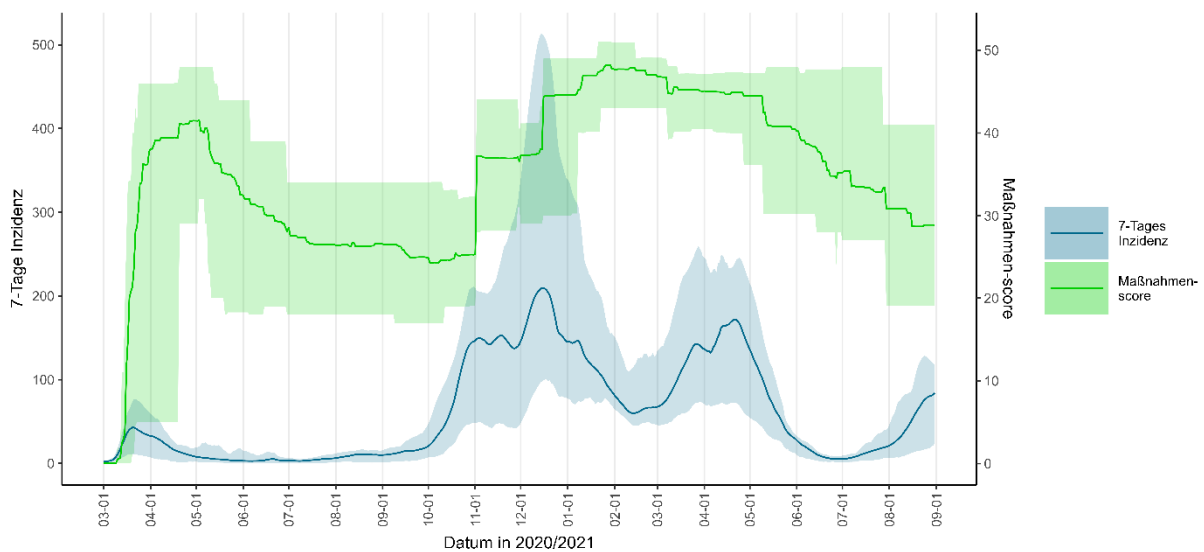


Abbildung 14: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des mittleren Maßnahmenscores im Analysezeitraum in Deutschland (Infas Dokumentation). Der Score gibt an wie hoch die Summe der Stufen von verordneten NPI jeweils war. Dabei wird die Stufe 1 nicht berücksichtigt. Die Bänder geben jeweils das Minimum und Maximum der 7-Tage-Inzidenz und des Maßnahmenscores über die Bundesländer an.

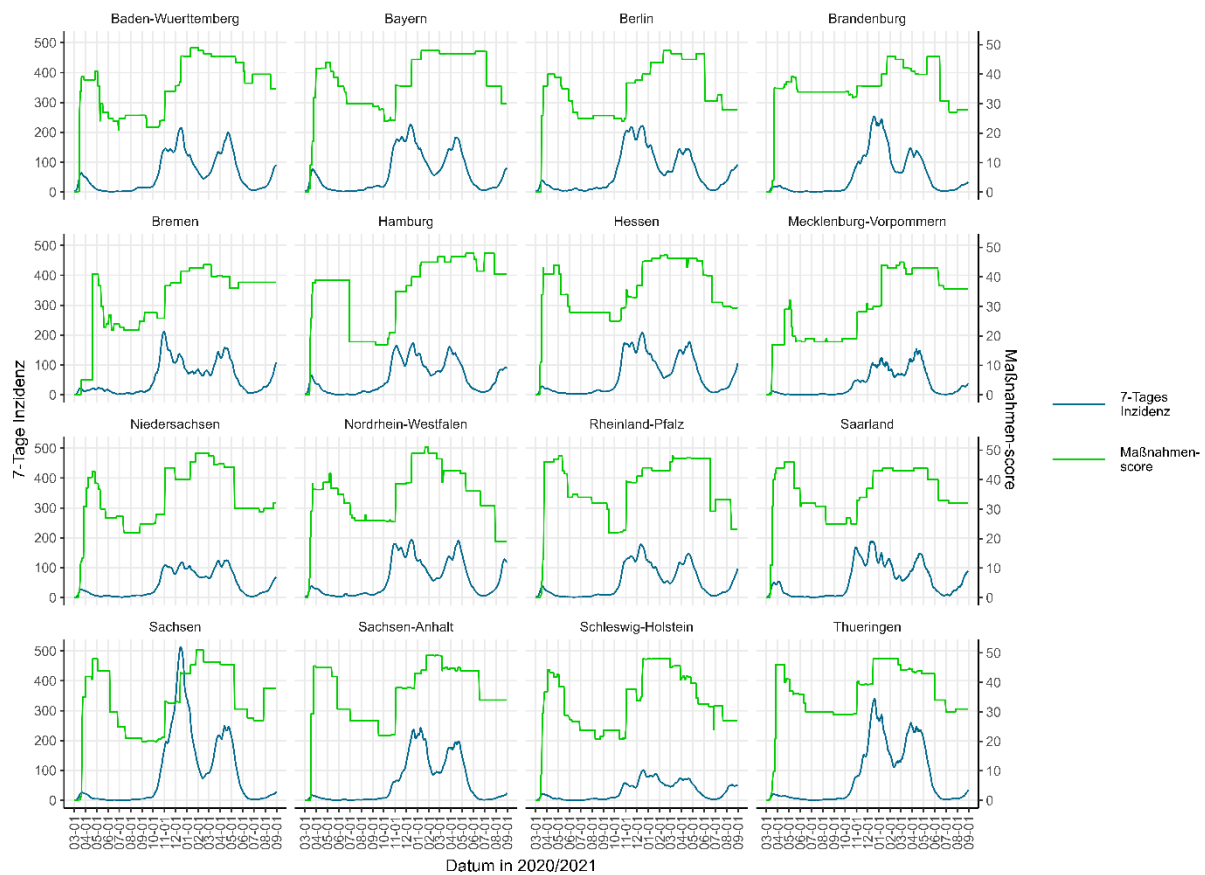


Abbildung 15: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des Maßnahmen-scores im Analysezeitraum in den Bundesländern. Der Score gibt an in wie hoch die Summe der Stufen von verordneten NPI jeweils war. Dabei wird die Stufe 1 nicht berücksichtigt.

Abbildung 16 bis Abbildung 20 zeigen, dass relativ unabhängig von dem gewählten Zeitraum ein angenommener Beginn der Wirkung auf den R-Wert bereits einen oder zwei Tag vor Inkrafttreten einer Verordnung („Verzug“ von -1 Tag oder -2 Tagen) die beste Nachbildung des beobachteten Verlaufs der R-Werte in den Altersgruppen und insgesamt erlaubt. Eine Ausnahme bildet die Altersgruppe 60+ Jahre, bei der das Modell teilweise mit einem Verzug von einem Tag die besten AIC-Werte zeigt.

Da dem von uns betrachteten R-Wert der Erkrankungsbeginn der COVID-19 Fälle zugrunde liegt und die Infektion jeweils noch vor dem Erkrankungsbeginn erfolgte, zeigt diese Analyse als wichtiges Ergebnis, dass die Verordnungen bereits vor ihrem Inkrafttreten einen Effekt auf die Ausbreitung der COVID-19-Epidemie in Deutschland ausgeübt haben.

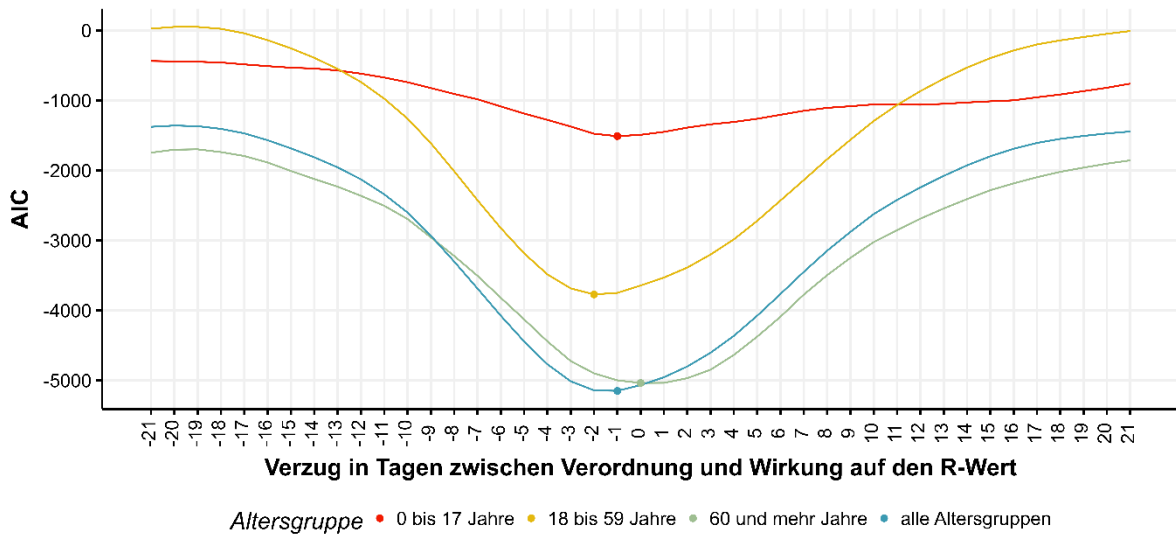


Abbildung 16: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für den Analysezeitraum, getrennt nach Altersgruppen.

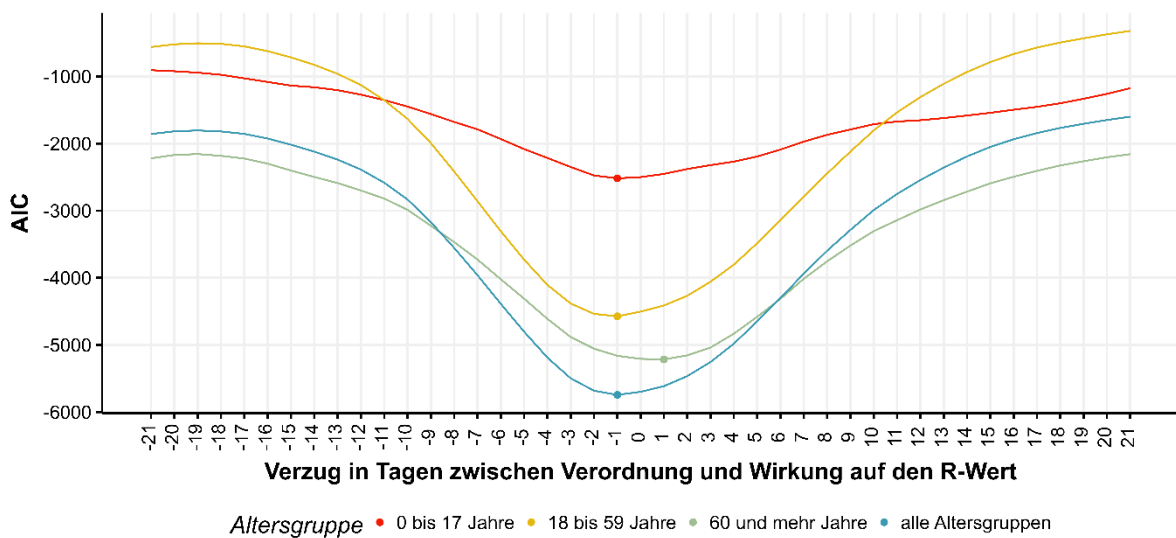


Abbildung 17: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 4, getrennt nach Altersgruppen.

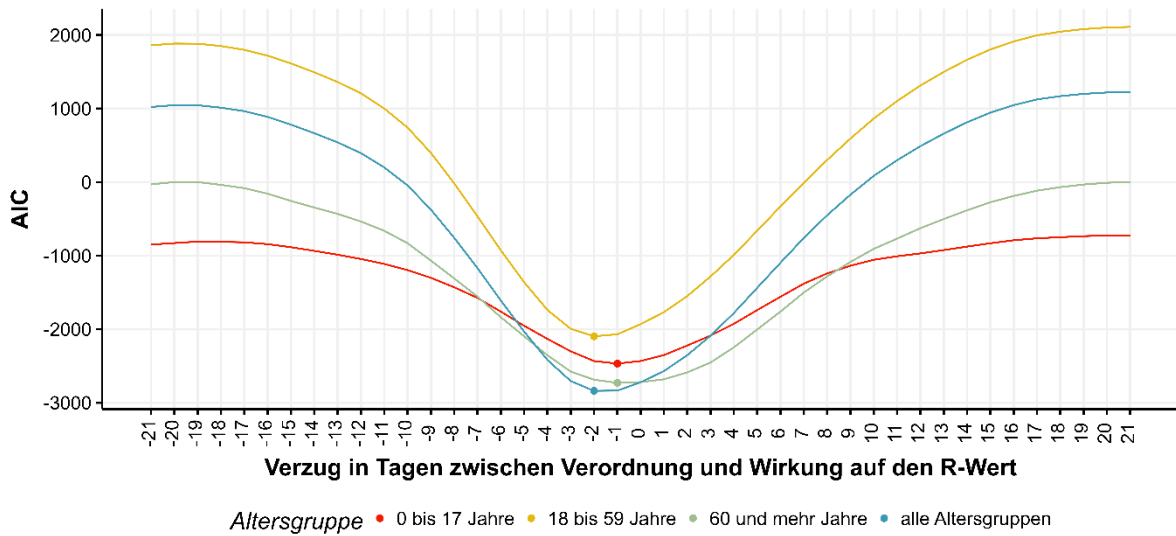


Abbildung 18: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 3, getrennt nach Altersgruppen.

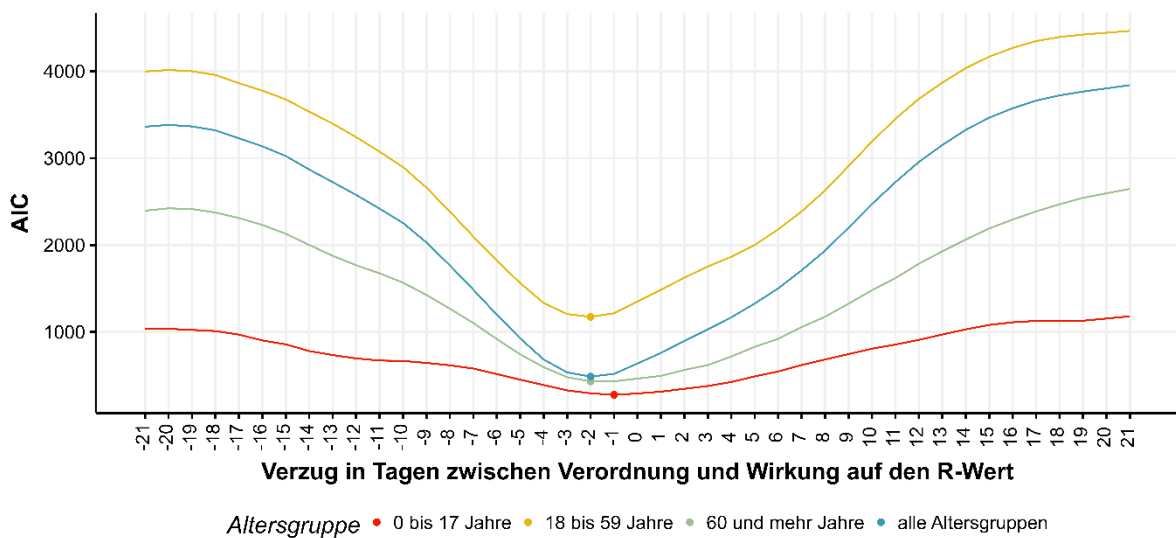


Abbildung 19: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 2, getrennt nach Altersgruppen.

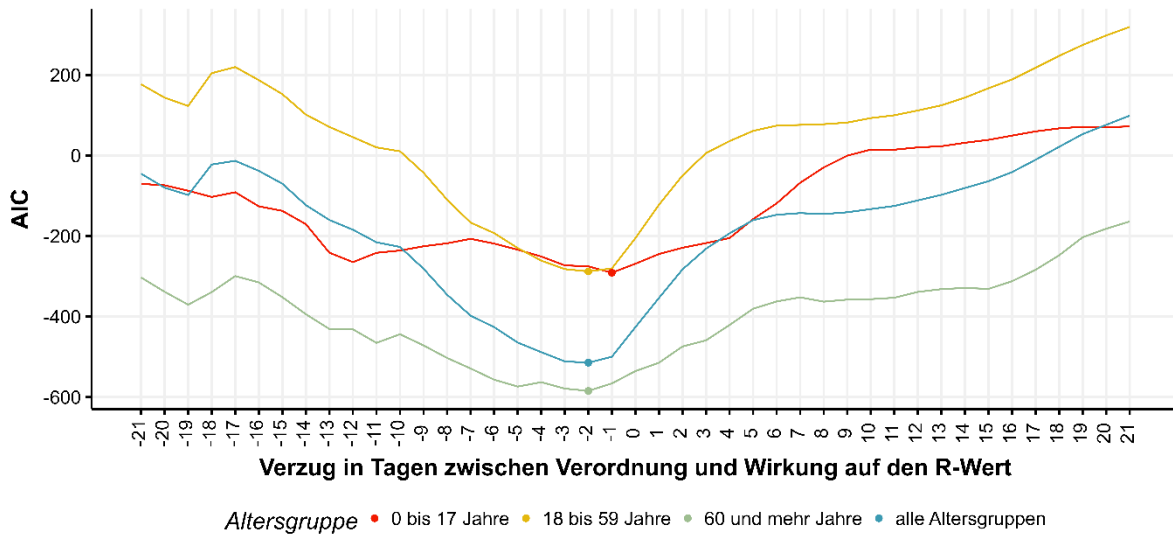


Abbildung 20: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 1, getrennt nach Altersgruppen.

Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse der Analyse der Wirkung der Impfquote auf den R-Wert in der Altersgruppe 60+ Jahre. Bereits die erste Impfung hatte einen deutlichen Effekt auf den R-Wert, der sich etwa 5 Tage nach der Impfung zu zeigen begann. Verwendete man die Impfquote der zweiten Impfung im Modell, so ergab sich ein minimaler AIC-Wert etwa 58 Tage vor dem Impfdatum. Dies ist konsistent mit den Ergebnissen zur ersten Impfung, da zwischen den beiden Impfungen im Durchschnitt tatsächlich etwa 60 Tage vergingen.

Diese Ergebnisse zeigen, dass der Effekt der ersten Impfung auf den R-Wert deutlich stärker war als ein möglicher weiterer Effekt der zweiten Impfung. Der Effekt der ersten Impfung auf die Steigerungsrate der Neuerkrankungen zeigte sich bereits 5 Tage nach dem Impfdatum. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich Menschen schon in der Woche vor ihrer Impfung vorsichtiger verhalten haben, um sich nicht noch kurz vor der Impfung mit SARS-CoV-2 zu infizieren.

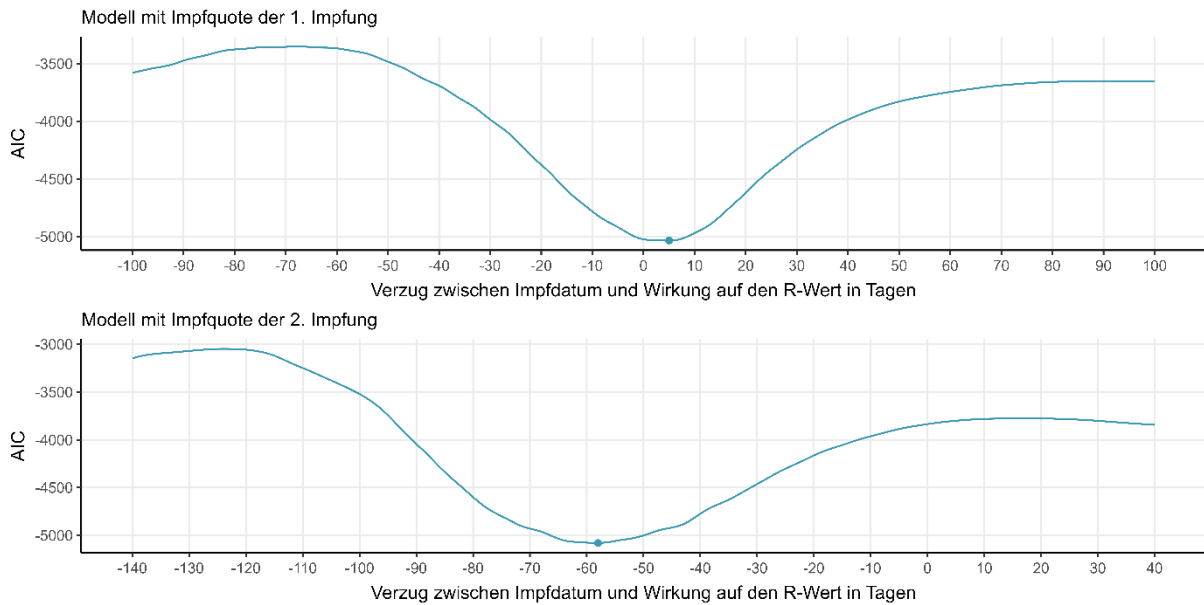


Abbildung 21: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Impfdatum und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert in der Altersgruppe 60 und mehr Jahre. Die Minima liegen 5 Tage nach der ersten Impfung und 58 Tage vor der zweiten Impfung.

Die Ergebnisse der Hauptanalyse für die unterschiedlichen Altersgruppen sind in Abbildung 22 und Abbildung 23 dargestellt. Es zeigte sich für die Maßnahmen ein mindernder Effekt auf den R-Wert, der für striktere Anwendung der Maßnahmen auch typischerweise größer ausfällt. Die Maßnahmen bezüglich der Testungen verhalten sich erwartungsgemäß anders, da sie zunächst zu einer besseren Erfassung der COVID-19-Fälle führen. Unter den anderen Maßnahmen zeigte nur die erste Eskalationsstufe der Einschränkungen bei Masken und bei den Beschränkungen am Arbeitsplatz einen paradoxen Effekt (der den R-Wert signifikant erhöht). Bei Kindern zeigten darüber hinaus die ersten Stufen der Einschränkungen in privaten Räumen und im Groß- und Einzelhandel paradoxe Effekte. Die stärkste Reduktion des R-Werts zeigte sich bei Einschränkungen im öffentlichen Raum (Reduktion des R-Werts um etwa 20% bis 30%) und im Bereich Dienstleistungen und Handwerk (Reduktion des R-Werts um etwa 10% bis 20%). Die kombinierten Variablen zu den Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie zeigten eine besonders klare Zunahme der R-Wert Reduktion bei Erhöhung der Anzahl von stark eingeschränkten Bereichen.

Für Kinder zeigten sich teilweise deutlich andere Effekte als bei den Erwachsenen. So hatten Maßnahmen in Kindertagesstätten und Schulen erwartungsgemäß auf die Ausbreitung von COVID-19 bei Kindern einen stärkeren Effekt, dagegen zeigten Einschränkungen beim Groß- und Einzelhandel, im Nachtleben, aber auch in privaten Räumen schwächere Effekte auf die Ausbreitung der Infektionen bei Kindern.

Da der R_0 -Wert des Wildtyps von SARS-CoV-2 im Bereich zwischen 2,8 und 3,8 geschätzt wurde (8-11), reichen einzelne Maßnahmen zur Kontrolle der COVID-19-Epidemie in Deutschland nicht aus. Abhängig vom vorhandenen Immunschutz in der Bevölkerung und der jeweils dominierenden Variante von SARS-CoV-2 sind leichte oder stärkere Eskalationsstufen verschiedener oder sogar aller Maßnahmen erforderlich. Diese Strategie liegt auch dem Multikomponentenansatz des Robert Koch-Instituts zugrunde (12-14).

Die Impfung zeigte mit einem Faktor von 0.66 einen relativ hohen Effekt auf den R-Wert. Dieser Faktor ist so zu interpretieren, dass eine Halbierung des Anteils von ungeimpften Personen, zum Beispiel von 100% auf 50% oder von 50% auf 25%, den R-Wert im Mittel um etwa 34% reduzierte. Dass diese Reduktion der ungeimpften Bevölkerung um 50% nicht zu einer 50%igen Reduktion des R-Werts führte, hängt zum einen damit zusammen, dass die Impfeffektivität bei unter 100% liegt und zum anderen damit, dass eine Clusterung von ungeimpften Bevölkerungsgruppen vorliegt. Diese Clusterung führt dazu, dass ein ungeimpfter COVID-19-Fall im Durchschnitt relativ viele Kontakte mit anderen ungeimpften Menschen hat und sich daher die Infektion in diesen Clustern gut ausbreiten kann - trotz einer hohen Impfquote in der Gesellschaft insgesamt.

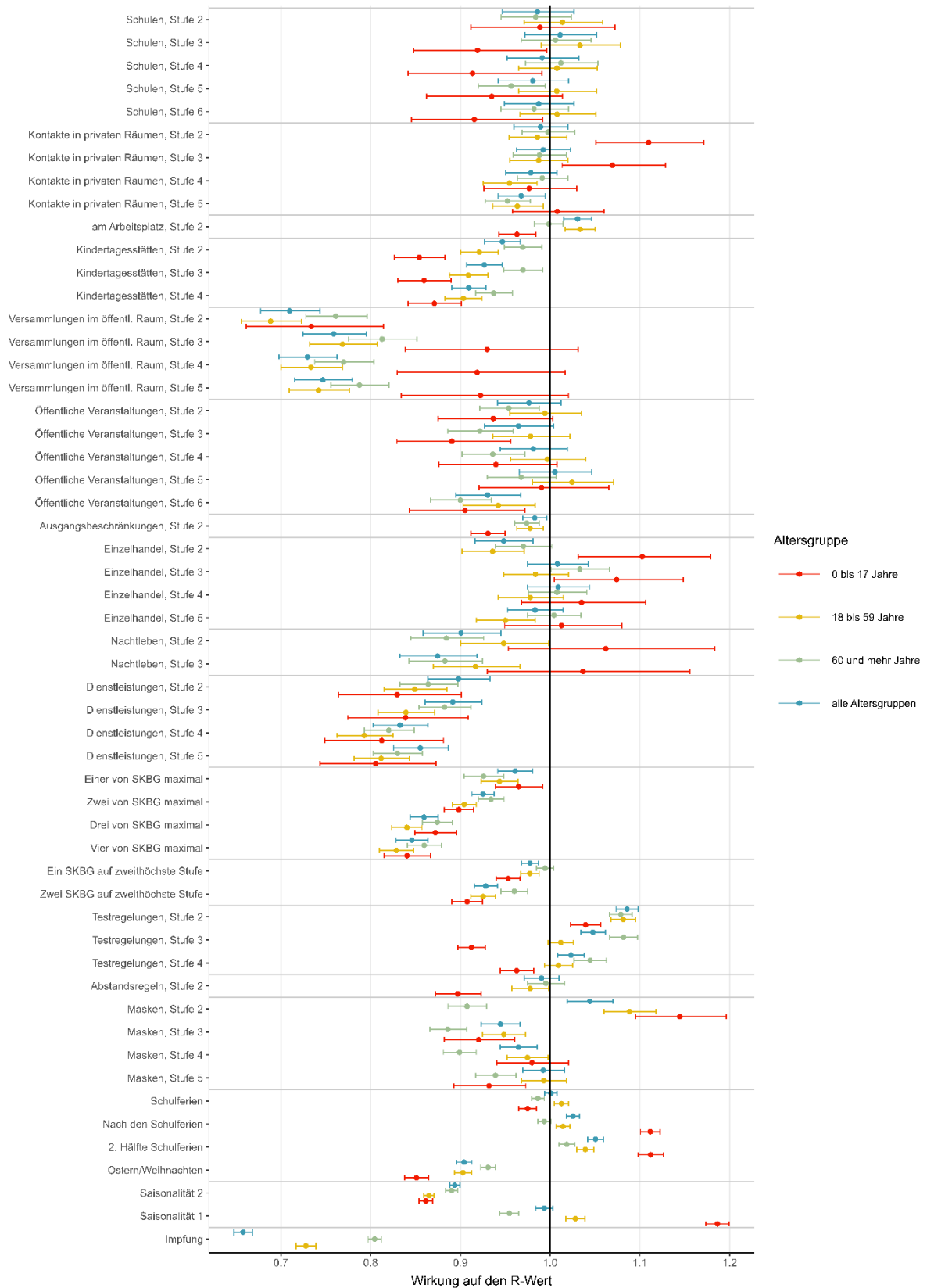
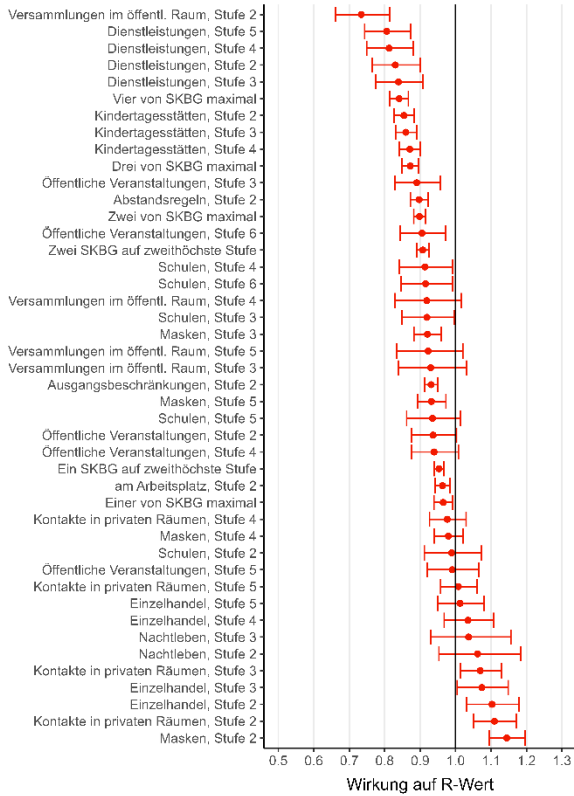
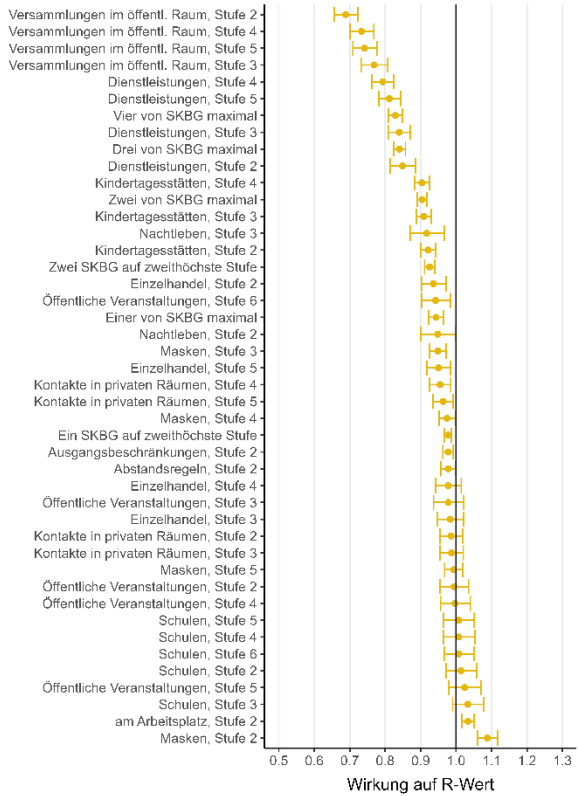


Abbildung 22: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach Altersgruppen. In jeder Altersgruppe enthält das Modell alle NPI-Variablen sowie die weiteren Variablen und eine Bundesland-spezifische Konstante.

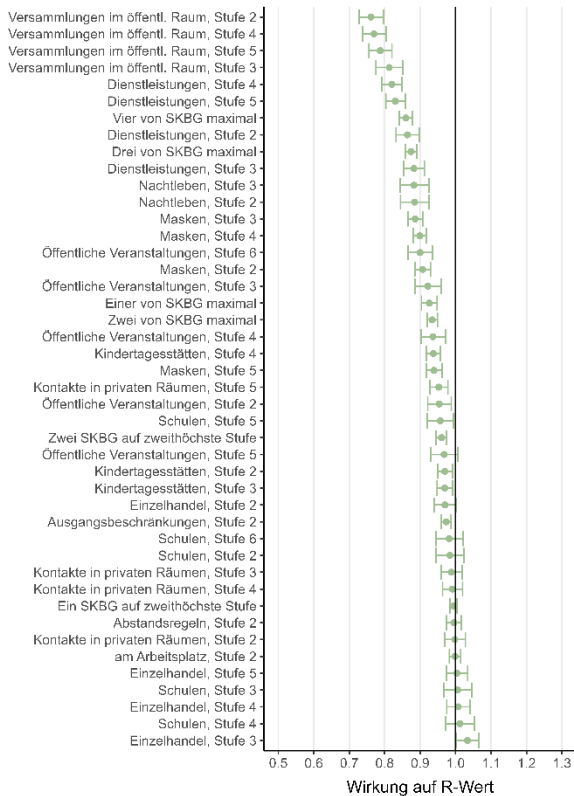
Altersgruppe unter 18



Altersgruppe 18-59



Altersgruppe (60+)



Altersgruppe Gesamt



Abbildung 23: Ranking der Ergebnisse des linearen Modells für den adjustierten Effekt der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach Altersgruppen. In jeder Altersgruppe enthält das Modell alle NPI-Variablen sowie die weiteren Variablen und eine Bundesland-spezifische Konstante.

Abbildung 24 fasst die Wirkung aller NPI zusammen (außer den Maßnahmen zur Testung). Der Stufe 5 der Zusammenfassung entspricht die höchstmögliche Eskalationsstufe in jedem Einzelbereich. Niedrigere Stufen der Zusammenfassung entsprechen jeweils einer Verringerung der Maßnahmenstärke um eine Stufe in jedem Einzelbereich. Es wurden zwei Strategien unterschieden: bei Strategie 1 wurden die Maßnahmen in Einzelbereichen auch vollständig aufgehoben, während sie bei Strategie 2 zumindest auf der ersten Eskalationsstufe verblieben. Es zeigte sich, dass insgesamt mit Maßnahmen auf der höchsten Stufe eine Reduktion des R-Werts um etwa 65% erreicht werden konnte. Strategie 1 führte in den niedrigeren Stufen zu einer weniger starken Reduktion des R-Werts, weil in einigen Bereichen die Maßnahmen vollständig aufgehoben wurden. Das zeigt, dass auch weniger stark eingreifende NPI wie etwa Hygienekonzepte oder die Begrenzung der Personenzahl bei öffentlichen Veranstaltungen eine relevante Wirkung hatten. Im Vergleich zeigte eine Impfquote von 87,5% sogar eine Reduktion des R-Werts (in der entsprechenden Altersgruppe) um etwa 72%.

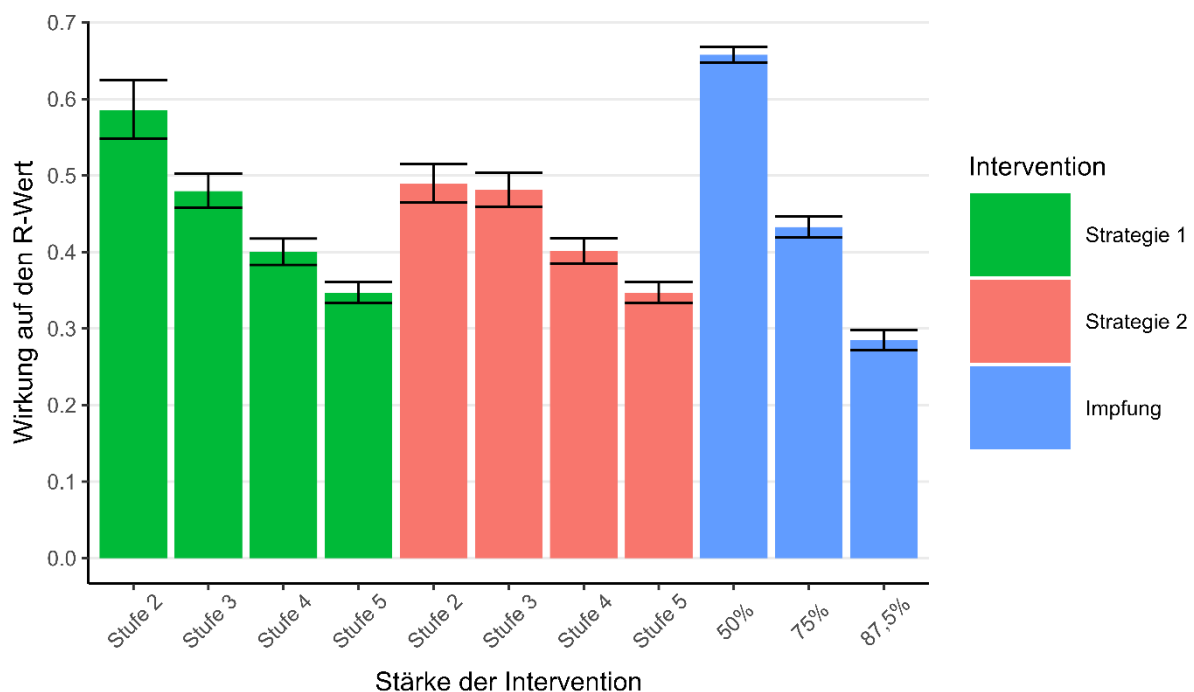


Abbildung 24: Vergleich der Wirkung auf den R-Wert bei Zusammenfassung aller NPI und verschiedener Impfquoten. Die Fehlerbalken geben das 95%-Konfidenzintervall an.

Abbildung 25 zeigt, wie sich die geschätzte Wirkung der NPI verändert, wenn ein anderer Verzug im Modell angenommen wird. Dabei verhält sich die Wirkung der Regelungen zu Kontakten in privaten Räumen, am Arbeitsplatz, in Kindertagesstätten, im Groß- und Einzelhandel, im Nachtleben, den kombinierten Variablen zu Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie, zu Testungen und zum Abstand relativ stabil. Die Wirkung der Maßnahmen in Schulen, zu Versammlungen im öffentlichen Raum, zu öffentlichlichen Veranstaltungen, bei Dienstleistungen und Handwerk, sowie bezüglich dem Tragen von Masken zeigen dagegen deutlich schwankende Werte und verhalten sich weniger stabil. Dies könnte auf eine Korrelation zwischen diesen geschätzten Wirkungen hinweisen. Beispielsweise verhalten sich die adjustierten Effekte der NPI in Schulen und bei Versammlungen im öffentlichen Raum bei einer Änderung des Verzugs entgegengesetzt zueinander – der positive Effekt der Einschränkungen bei

Versammlungen im öffentlichen Raum wird bei Annahme eines zunehmendem Verzugs kleiner geschätzt, der Effekt von NPI in Schulen dagegen größer.

Betrachten wir daher ein weniger differenziertes Modell, bei dem zusätzlich zu den Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie auch die Bereiche Groß- und Einzelhandel und Dienstleistungen und Handwerk in die kombinierte Variable eingehen, zeigt sich insgesamt eine stabilere Schätzung der Wirkung der NPI, siehe Abbildung 26. Nur die Regelungen in den Bereichen Schulen, öffentliche Räume, bezüglich dem Tragen von Masken und weniger stark bei öffentlichen Veranstaltungen zeigen weiterhin in Abhängigkeit vom gewählten Verzug eine deutlich schwankende geschätzte Wirkung auf den R-Wert. Da diese Regelungen sehr unterschiedliche Aktivierungsmuster zeigen, lassen sie sich nicht auf einfache Weise - etwa wie die Einschränkungen in den stark korrelierten Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie - kombinieren.

Eine weitere Stabilisierung dieses Modell kann erreicht wenn, wenn nach und nach jeweils die Bereiche, deren geschätzter Effekt auf den R-Wert stark von der gewählten Verzögerung abhängt und deren Effekt vergleichsweise klein ist, nicht mehr in das Modell eingehen. Dieses Vorgehen führt schrittweise zum Weglassen der Bereiche Schulen, private Räume und öffentliche Veranstaltungen. Das resultierende Modell zeigt Abbildung 27: Hier zeigen sich für unterschiedliche angenommene Verzüge zwischen dem Inkrafttreten und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert nur noch Verschiebungen bei der Wirkung der Einschränkungen im öffentlichen Raum und dies zeigt, dass die geschätzte Reduktion des R-Werts durch die NPI insgesamt größer ausfällt, wenn angenommen wird, dass diese Wirkung früher einsetzt (für einen Verzug im Bereich von drei Tagen vor und drei Tagen nach dem Inkrafttreten der entsprechenden Beschlüsse).

Hierdurch zeigt sich, dass die Effektivität der Maßnahmen in den einzelnen Bereichen zur Kontrolle der COVID-19 Pandemie in Deutschland in unserem Modell nicht entkoppelt werden kann. Durch eine Verschiebung des angenommenen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten der Einschränkungen und der Wirkung auf den R-Wert der Ausbreitung um wenige Tage verschiebt sich etwa die Einschätzung der Bereiche Versammlungen im öffentlichen Raum und Schulen und dies führt dann auch zu einem ganz unterschiedlichen Ranking der einzelnen Bereiche. Dies liegt zu einem wesentlichen Teil in der Natur dieser Einschränkungen: wenn etwa im öffentlichen Raum die Versammlung von nur höchstens fünf Personen erlaubt ist, so kann das nur einen wesentlichen Beitrag zur Kontrolle der Epidemie liefern, wenn auch öffentliche Veranstaltungen praktisch nicht mehr oder nur sehr eingeschränkt stattfinden und wenn sich Menschen auch in den Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie kaum noch treffen – denn ansonsten wird die Infektion, die in einem Bereich vermieden werden konnte, in einem anderen Bereich dann doch erworben. Aus dem gleichen Grund kann kaum aus der Tatsache, dass in unserem Modell eine vollständige Schließung einzelner Bereiche im Vergleich zum eingeschränkten Betrieb nicht immer mit einem stärkeren Effekt auf den R-Wert verbunden ist, geschlossen werden, dass eine Verschärfung der Einschränkungen keine höhere Wirksamkeit mit bedingt.

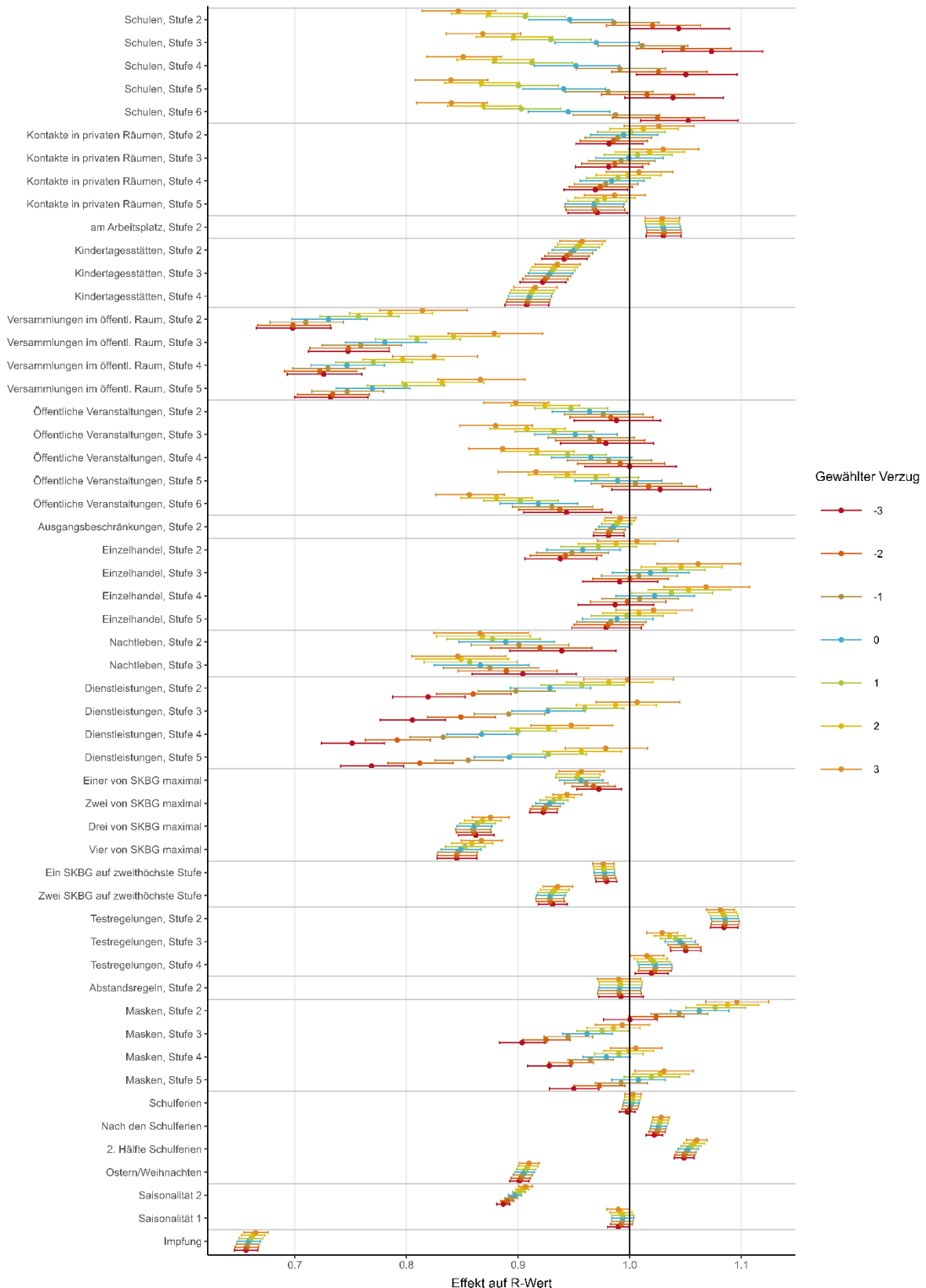


Abbildung 25: Stabilitätsanalyse 1 der Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) für variierenden Verzug zwischen dem Geltungsbeginn einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert. Das Modell enthält jeweils die NPI-Variablen sowie die weiteren Variablen und eine Bundesland-spezifische Konstante.

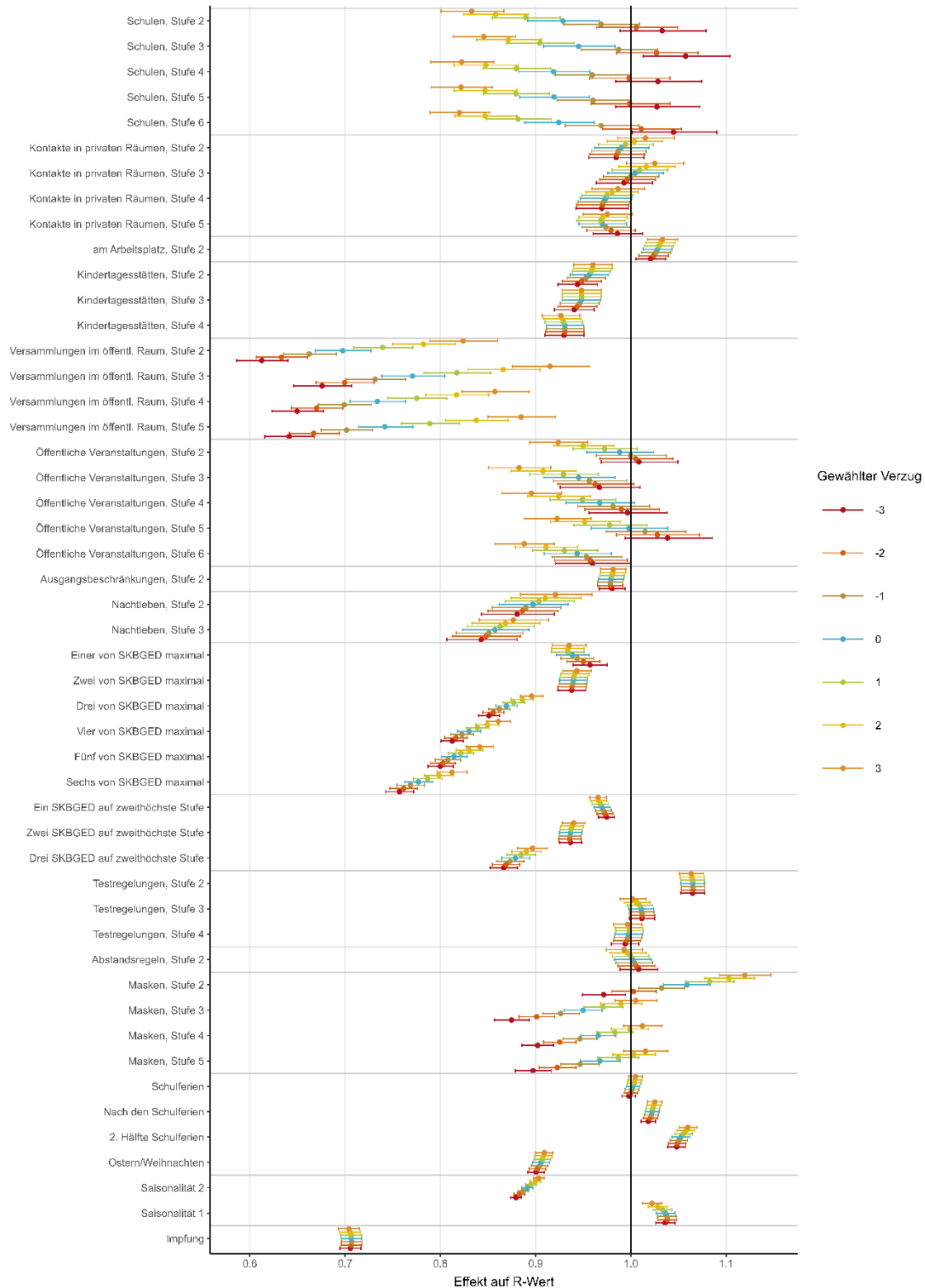


Abbildung 26: Stabilitätsanalyse 2 der Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) für variierenden Verzug zwischen dem Geltungsbeginn einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert, wenn die Effekte der Maßnahmen in den Bereichen Kultur, Sport, Beherbergung und Gastronomie, sowie beim Groß- und Einzelhandel und bei Dienstleistungen und Handwerk (SKBGED) kombiniert betrachtet werden. Das Modell enthält jeweils die NPI-Variablen sowie die weiteren Variablen und eine Bundesland-spezifische Konstante.

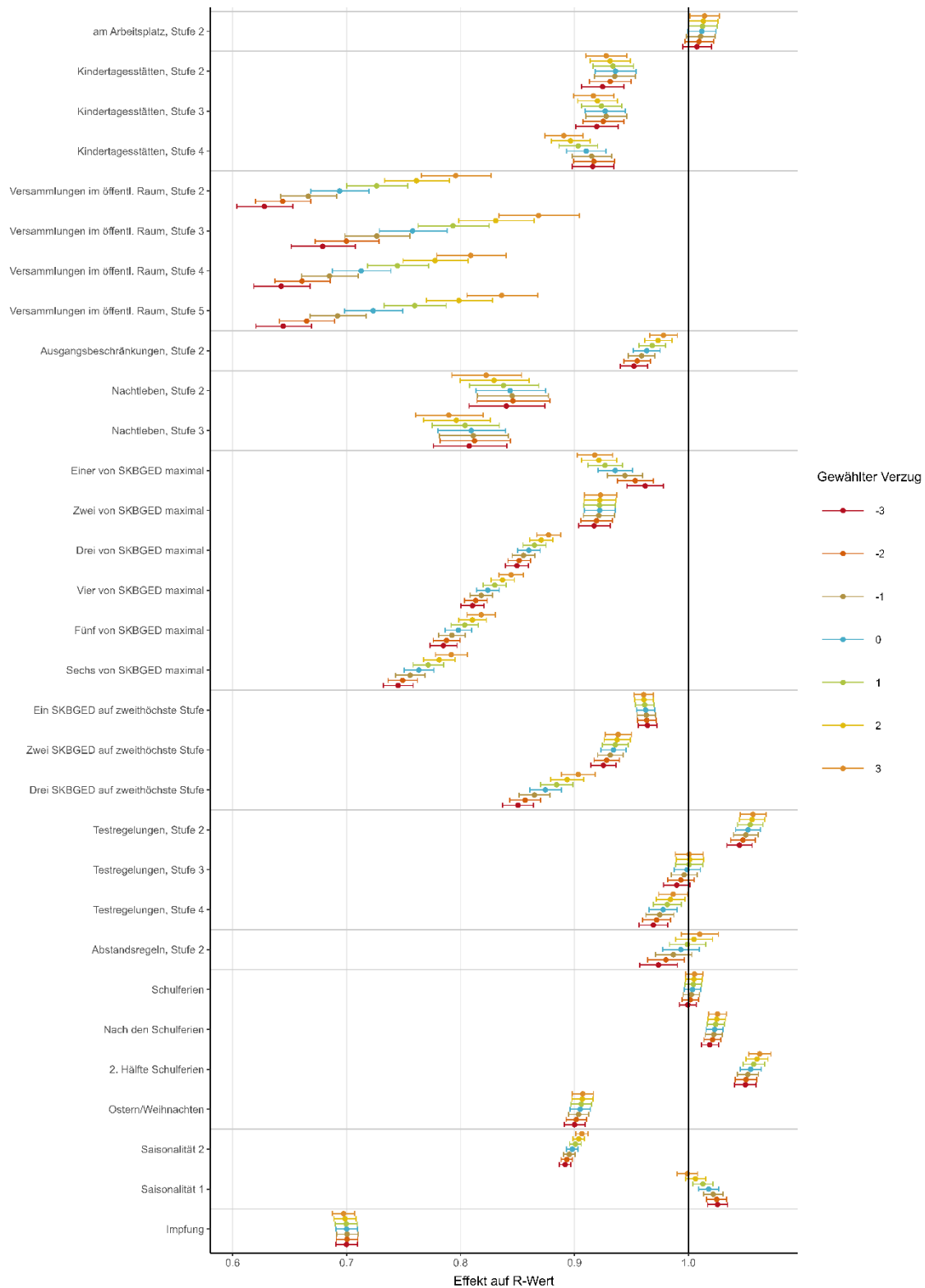


Abbildung 27: Stabilitätsanalyse 3 der Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) für variierenden Verzug zwischen dem Geltungsbeginn einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert, wenn die Effekte der Maßnahmen in den Bereichen Kultur, Sport, Beherbergung und Gastronomie, sowie beim Groß- und Einzelhandel und bei Dienstleistungen und Handwerk (SKBGED) kombiniert betrachtet werden und ohne Berücksichtigung der Einschränkungen in Schulen, privaten Räumen und bezüglich Masken. Das Modell enthält jeweils die NPI-Variablen sowie die weiteren Variablen und eine Bundesland-spezifische Konstante.

In Abbildung 28 werden die Modellergebnisse für unterschiedliche Zeiträume verglichen. Dabei wurden, wie in den Methoden erläutert, folgende Zeiträume betrachtet: Zeitraum 1 (01.03. bis 01.05.2020) beschreibt die erste COVID-19 Welle, Zeitraum 2 (01.03. bis 01.10.2020) die erste Welle und den Sommer 2020, Zeitraum 3 (01.03.2020 bis 15.02.2021) die ersten beiden Wellen und Zeitraum 4 (01.03.2020 bis 01.07.2021) die ersten drei COVID-19 Wellen. Dabei zeigte sich, dass die Effektschätzungen in Welle 1 deutlich schlechter bestimmbar waren und wesentlich größere Unsicherheitsbereiche aufwiesen. In Abbildung 29 sind daher nur die Zeiträume 2 bis 4 und der gesamte Analysezeitraum dargestellt. Hier zeigt sich generell eine gute Übereinstimmung mit kleineren Diskrepanzen vor allem in den Bereichen öffentliche Veranstaltungen, Groß- und Einzelhandel, sowie dem Tragen von Masken. Die Abweichungen gehen dabei in entgegengesetzte Richtungen. In den übrigen Bereichen zeigen sich relativ konsistente Effektschätzungen im Vergleich der Zeiträume.

Hauptmodell: $R^2 = 62.7\%$, Zeitraum 4: $R^2 = 68.9\%$, Zeitraum 3: $R^2 = 72.7\%$,
 Zeitraum 2: $R^2 = 76.3\%$, Zeitraum 1: $R^2 = 90.4\%$,

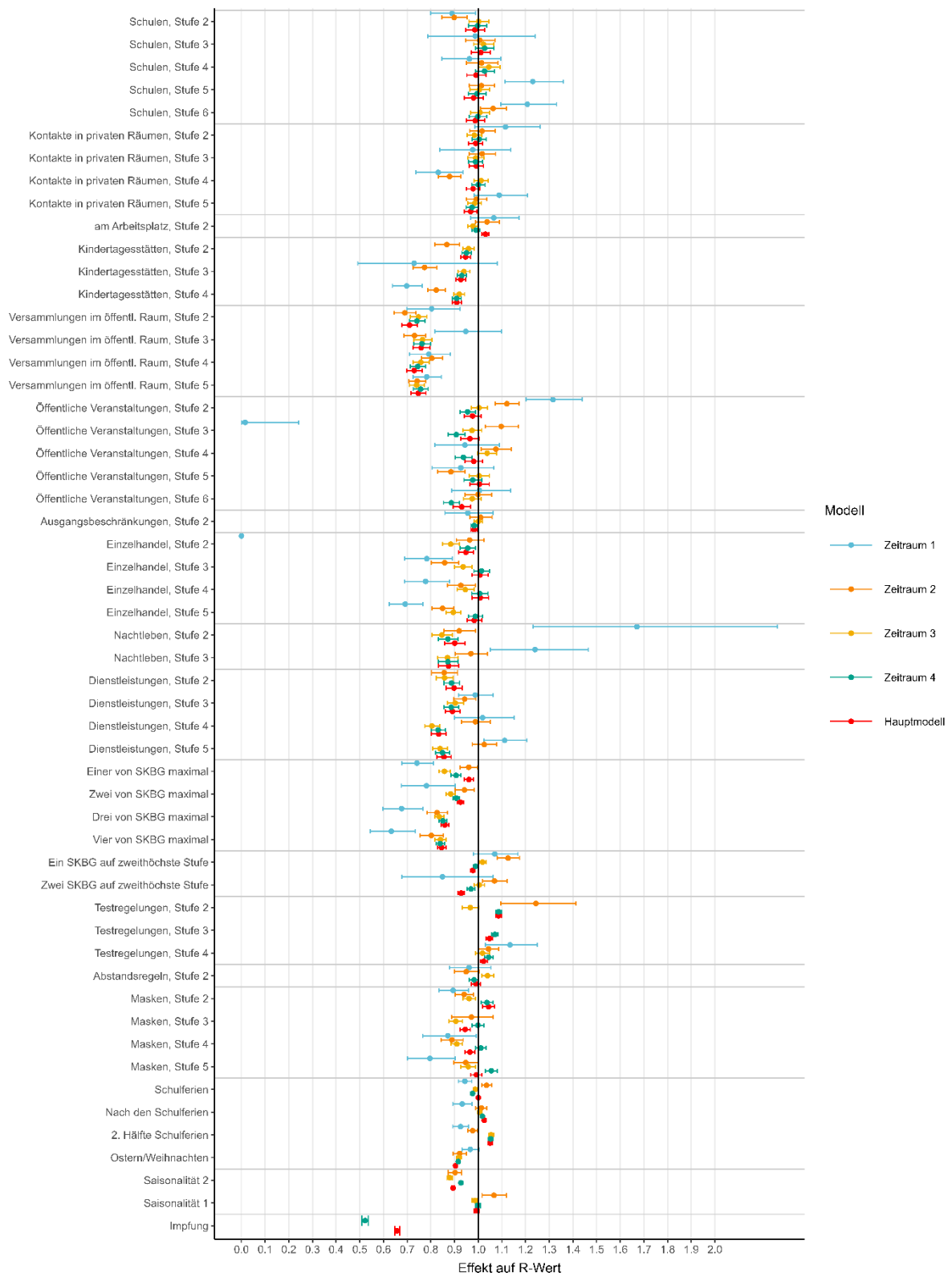


Abbildung 28: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach betrachtetem Zeitraum.

Hauptmodell: $R^2 = 62.7\%$, Zeitraum 4: $R^2 = 68.9\%$, Zeitraum 3: $R^2 = 72.7\%$,
 Zeitraum 2: $R^2 = 76.3\%$,

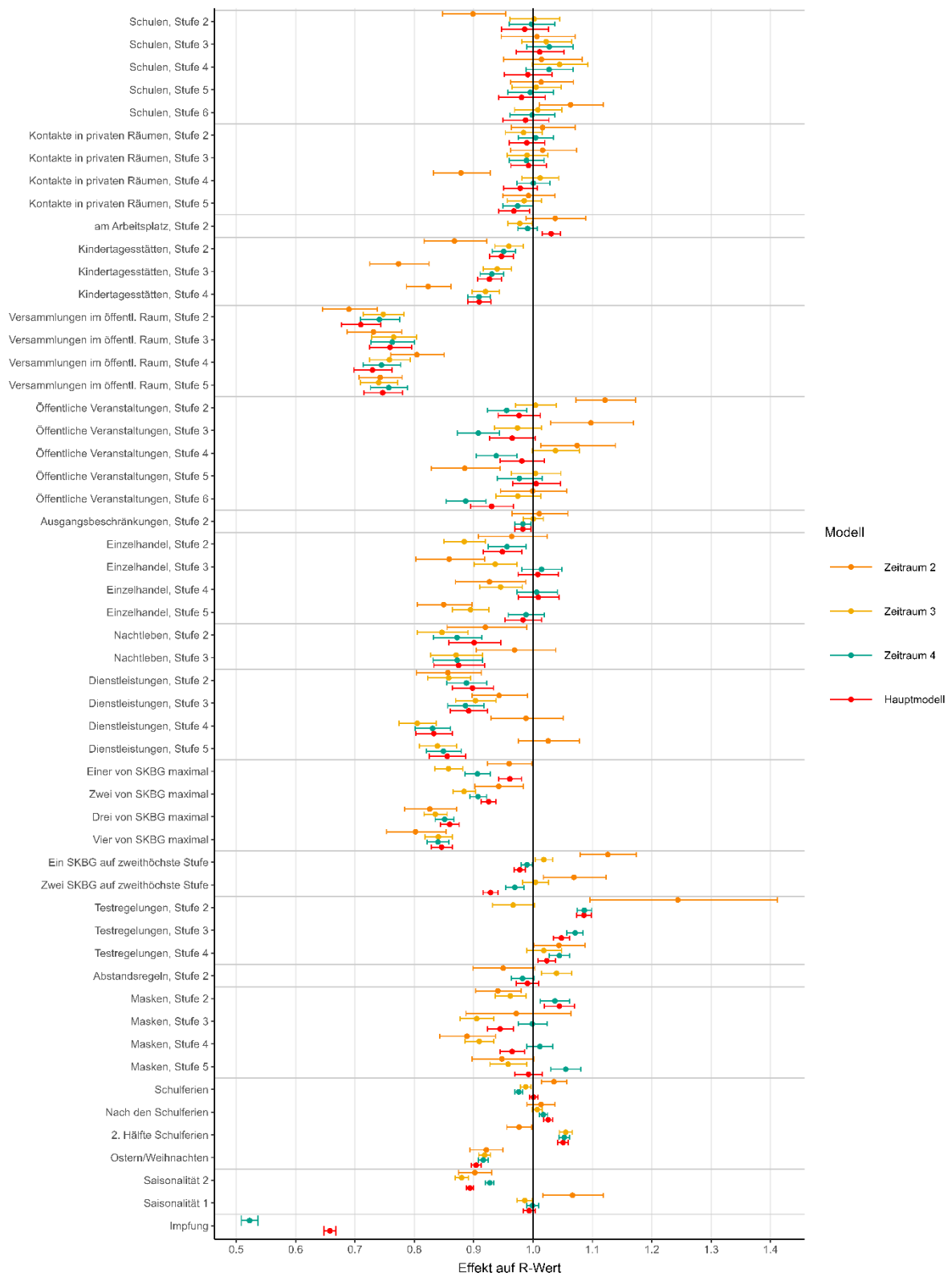


Abbildung 29: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) getrennt nach betrachtetem Zeitraum, ohne ausschließlich erste Welle.

Abbildung 30 zeigt den Vergleich des Hauptmodells, das eine Gewichtung für die mittlere Anzahl von COVID-19 Fällen innerhalb der letzten sieben Tage beinhaltet mit einem ansonsten

identischen Modell, das keine Gewichte enthält. Dieses zeigt eine geringere Wirkung der NPI in den Bereichen Versammlungen im öffentlichen Raum, öffentliche Veranstaltungen und den kombinierten Bereichen Sport, Kultur, Beherbergung und Gastronomie auf den R-Wert und dafür eine stärkere Wirkung vor allem für NPI im Bereich des Nachtlebens. Dies lässt sich wohl vor allem darauf zurückführen, dass für Einrichtungen des Nachtlebens auch bei vergleichsweise geringen Fallzahlen noch sehr strikte Einschränkungen galten.

Abbildung 31 zeigt einen Vergleich der Effektschätzer des Hauptmodells mit einem verallgemeinerten linearen Modell (GLM) mit Gamma-Verteilung und logarithmischer Link-Funktion, das dann den R-Wert selber als Outcome hat. Sie zeigt, dass die Ergebnisse beider Modelle sehr ähnlich sind. Das GLM führt zu einer etwas stärkeren Reduktion des R-Werts aufgrund der Maßnahmen in Schulen, im Gegenzug fällt der Effekt der Impfung auf den R-Wert etwas geringer aus.

In Abbildung 32 wird das Hauptmodell mit einem Modell verglichen, das auf den rückprojizierten Fallzahlen basiert, die dann den geschätzten Verlauf nach dem Datum der Infektion anzeigen. Die Rückprojektion geht dabei von der Zeitreihe der COVID-19 Fälle nach Erkrankungsbeginn aus und berücksichtigt zusätzlich die Inkubationszeit zwischen dem Zeitpunkt der Infektion und dem Erkrankungsbeginn. Insgesamt zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Das Modell basierend auf der Infektionsinzidenz führt zu etwas stärkerer Reduktion des R-Werts aufgrund der Maßnahmen bei Schulen, öffentlichen Veranstaltungen und Einrichtungen des Nachtlebens, im Gegenzug fällt der Effekt von Maskenregelungen und von Einschränkungen bei Dienstleistungen und Handwerk auf den R-Wert etwas geringer aus.

Hauptmodell: $R^2 = 62.7\%$, Modell ohne Gewichtung: $R^2 = 48.3\%$

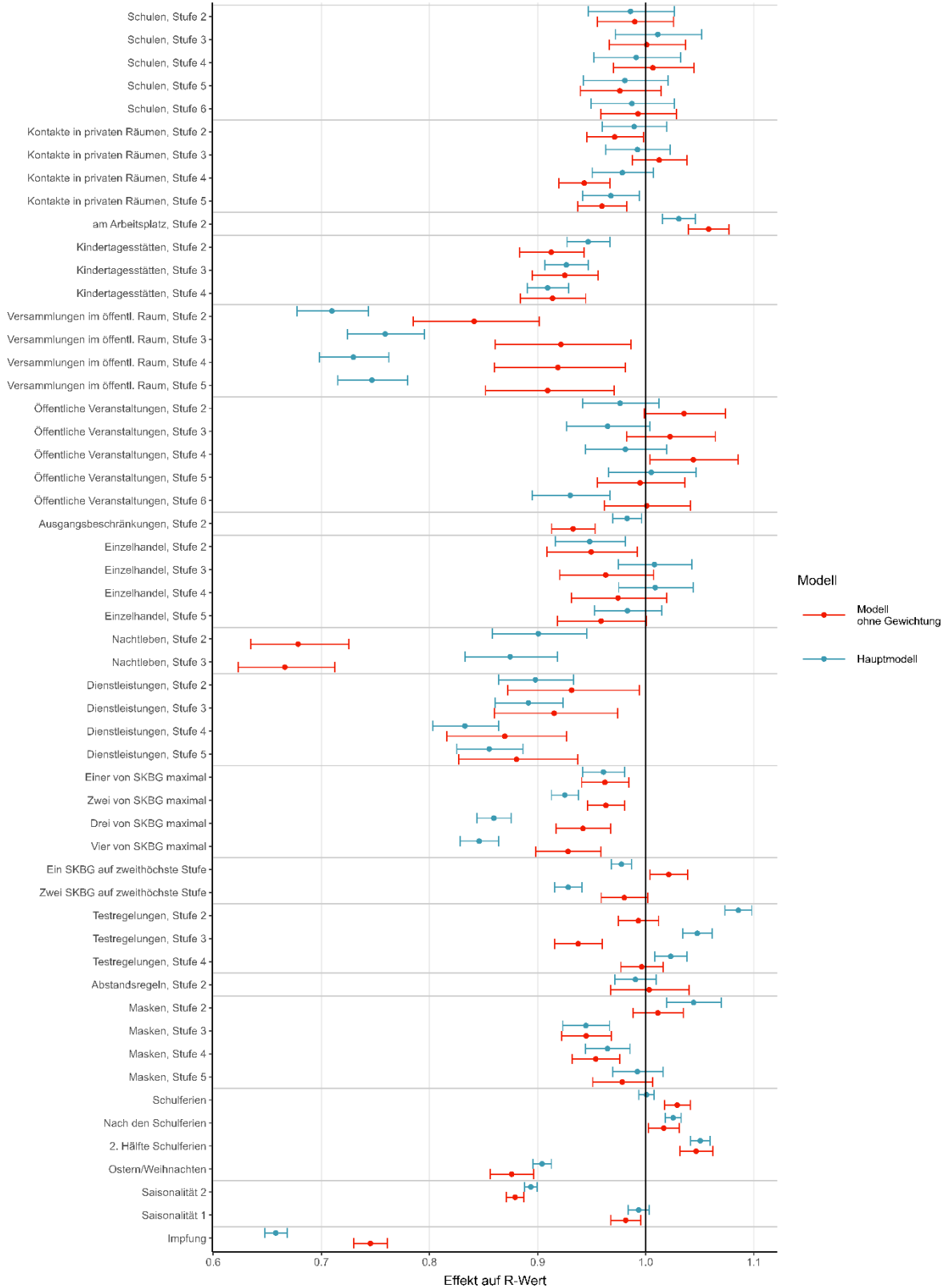


Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit und ohne Gewichtung.



Abbildung 31: Vergleich der Ergebnisse des linearen Modells (Hauptmodell) für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit einem verallgemeinerten linearen Modell mit Gamma-link Funktion.

Hauptmodell: $R^2 = 62.7\%$, Rückprojizierte Inzidenz: $R^2 = 52.5\%$

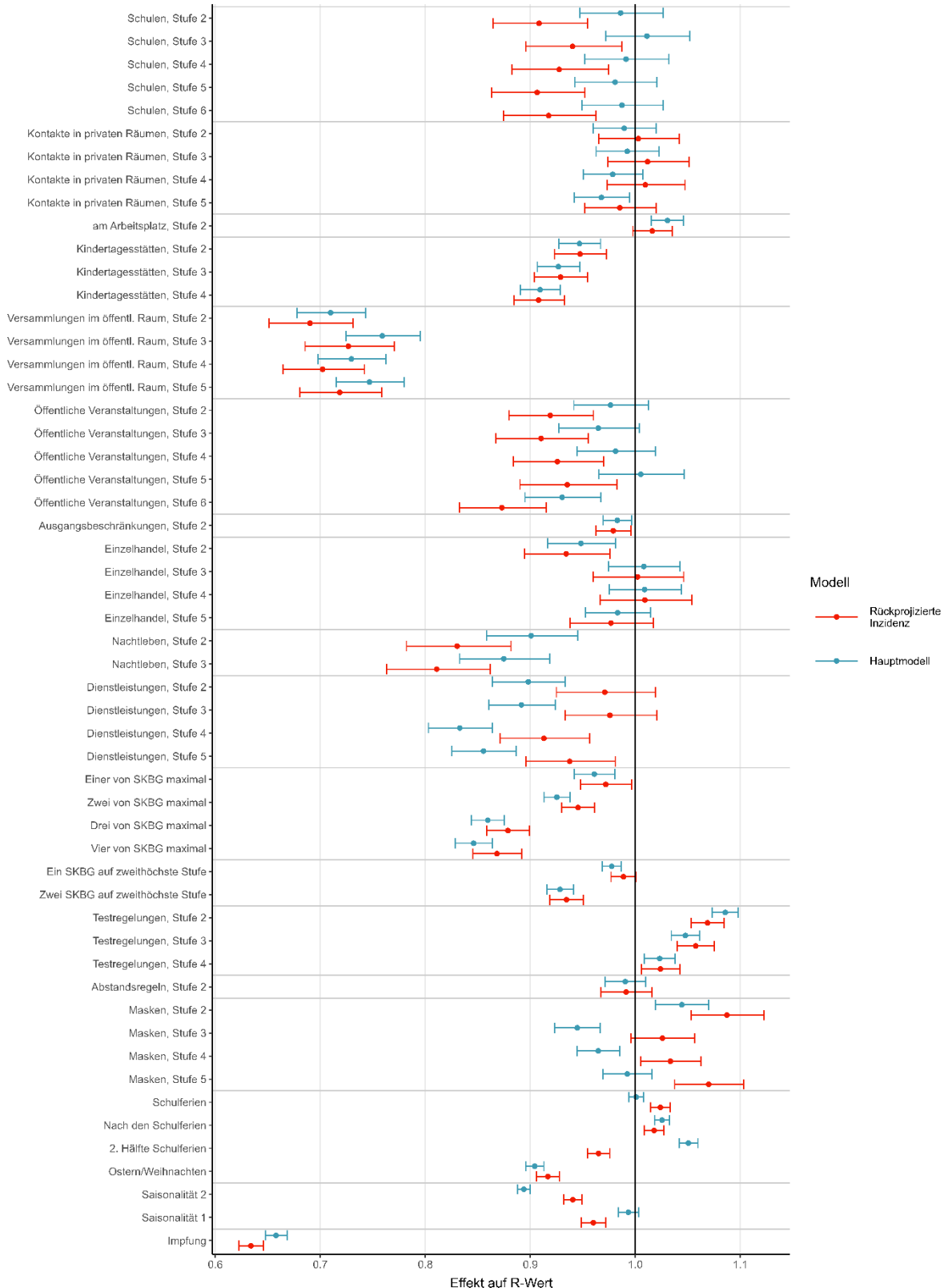


Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse des Hauptmodells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit einem Modell basierend auf der rückprojizierten Inzidenz nach Infektionszeitpunkt.

Diskussion der Ergebnisse

In der StopptCOVID-Studie wurden verschiedene Ansätze gewählt, um den Einfluss der NPI auf den Verlauf der Epidemie in Deutschland zu untersuchen. Für die Analyse der deutschen Daten auf Bundeslandebene wurde die Wirkung der NPI auf den R-Wert untersucht. Die in den verschiedenen Bereichen eingesetzten NPI führten zu einer Reduktion des R-Werts der Ausbreitung von SARS-CoV-2 in Deutschland. Diese Reduktion wurde mit zunehmender Schärfe der Maßnahmen stärker. Die Wirkung von NPI in einzelnen Bereichen war aber nicht stark genug, um im Winter 2020/2021 den exponentiellen Anstieg aufzuhalten – dies gelang nur durch eine Kombination der NPI in verschiedenen Bereichen. Nach Einführung der Impfung veränderte sich die Situation am Anfang des Jahres 2021 zunächst in der Altersgruppe der über 60-jährigen, so dass diese von der dritten COVID-19 Welle deutlich weniger stark als die anderen Altersgruppen betroffen war.

Die betrachteten Modelle zeigen, dass NPI mit einer deutlichen Reduktion der COVID-19 Ausbreitung in Deutschland assoziiert waren, die je nach Strenge der NPI, unterschiedlich stark ausgeprägt war. Der Effekt der NPI zeigte sich dabei bereits kurz vor dem Inkrafttreten der jeweiligen Verordnungen. Die naheliegendste Erklärung dafür ist, dass Verhaltensanpassungen in der Bevölkerung bereits vor dem Inkrafttreten der Einschränkungen erfolgten. Dies weist auf die besondere Rolle der medialen Berichterstattung und der öffentlichen Diskussionen, insbesondere im Zusammenhang mit den Ministerpräsidentenkonferenzen hin.

Die unterschiedlichen Modellansätze zeigen, dass einzelne Maßnahmen nicht ausreichend waren zur Kontrolle der COVID-19 Epidemie in Deutschland. Erst die Kombination von NPI in ganz verschiedenen Bereichen konnte diese Kontrolle bewirken. Einzelne NPI konnten nur im Kontext der parallel bestehenden anderen Maßnahmen bewertet werden. Der Effekt einer einzelnen Maßnahme darf nicht so interpretiert werden, dass dieser Effekt auch gewirkt hätte, wenn keine andere Maßnahme ergriffen worden wäre. Insbesondere wurden die Maßnahmen in unserem Modell als unabhängig angenommen, die realen Abhängigkeiten konnten also nicht abgebildet werden. Die Stabilitätsanalyse zeigt, dass bei einigen NPI, die im Hauptmodell keine signifikanten Effekte zeigen, eine geringfügige Änderung des angenommenen Verzugs zu einem signifikanten Effekt führt. Dies kann zum Beispiel dadurch entstehen, dass unterschiedlichen NPI zu ähnlichen Zeitpunkten verschärft werden und eine Verringerung des R-Wertes dann je nach angenommener Verzögerung stärker der einen oder anderen Maßnahme zugordnet wird. Eine Beurteilung wie alternative Maßnahmen-Szenarien auf den Pandemieverlauf eingewirkt hätten erscheint daher nur sehr eingeschränkt möglich.

Insgesamt scheinen auch weniger stark eingreifende NPI wie etwa Hygienekonzepte oder die Begrenzung der Personenzahl bei öffentlichen Veranstaltungen eine relevante Wirkung zu zeigen. In der Summe aller NPI führten Verschärfungen jeweils zu einer stärkeren Reduktion der COVID-19 Ausbreitung. Inwieweit die vollständige Schließung auch in einzelnen Bereichen mit der stärksten Reduktion der Ausbreitung verbunden war ist im Rahmen unserer Analyse schwer zu beurteilen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass in einigen Bereichen ein deutlich eingeschränkter Betrieb mit strengen Auflagen bessere Ergebnisse als eine Schließung zu erzielen vermag.

Die Rolle von Schulschließungen auf den Verlauf der COVID-19-Pandemie war von Beginn an strittig. In verschiedenen Arbeiten gibt es Hinweise darauf, dass Schulschließungen die Ausbreitung von COVID-19 verlangsamt haben (15-18). Gleichzeitig sind viele nachteilige

Entwicklungen bei Kindern infolge von Schulschließungen beobachtet worden (19). Bei der Auswertung der Daten in Deutschland waren NPI Regelungen in Schulen zumindest bei Kindern sowie bei allen Altersgruppen bei Betrachtung des Gamma-Modells und nach Rückprojektion auf den Infektionszeitpunkt mit einer geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit von COVID-19 assoziiert. Längere Schulferien schienen eine pandemiefördernde Wirkung zu haben, was wohl auf den Eintrag von Infektionen durch Reiserückkehrern sowie etwaigen Anpassungen der Teststrategien zum jeweiligen Schulbeginn zurückzuführen ist.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Impfquote einen stark reduzierenden Effekt auf den R-Wert hatte. Dies führte insbesondere in der älteren Bevölkerung zu einer deutlich schwächeren dritten COVID-19 Welle.

Die in unserer Studie betrachteten NPI trugen wesentlich zur Bekämpfung der Pandemie bei und verhinderten in der Zeit bis zur Entwicklung wirksamer Impfstoffe eine starke Überlastung des Gesundheitssystems.(5, 6) Bei dieser Analyse wurde ausschließlich die Wirkung der NPI auf das Infektionsgeschehen, nicht jedoch unbeabsichtigte Auswirkungen auf andere Bereiche der Gesellschaft untersucht. Zu den Überlegungen, ob die Einführung einer bestimmten Maßnahme auch in Zukunft sinnvoll ist, müssen mögliche unbeabsichtigte Auswirkungen auf die körperliche und psychische Gesundheit der Menschen, das gesellschaftliche Zusammenleben und der Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung immer wieder neu abgewogen werden. Die Abmilderung der negativen Folgen von NPI sollte bei der Pandemieplanung mitgedacht werden.

In den vorliegenden statistischen Analysen wurde der Einfluss von Verordnungen zur Bekämpfung der Pandemie untersucht. Über die Verordnungen hinausgehende Maßnahmen, etwa der Gesundheitsämter vor Ort, konnten nicht miteinbezogen werden. Verordnungen können nur bedingt die wirklichen Verhaltensänderungen der Bevölkerung widerspiegeln. Manche NPI, etwa Restriktionen in Bezug auf private Treffen, konnten leicht umgangen werden, während andere NPI wie die Schließung von Schulen oder Restaurants unumgänglich waren. Die Adhärenz ist entscheidend für die Wirksamkeit der NPI, kann jedoch sowohl zeitlich als auch regional sehr unterschiedlich hoch gewesen sein (20). Eine Berücksichtigung dieser oder weiterer Faktoren könnte zu einer relevanten Modifikation unserer Ergebnisse führen, die auch die Interpretation dieser Ergebnisse beeinflussen könnte. Zudem birgt die Dokumentation der Maßnahmen selbst große methodische Herausforderungen, so dass punktuelle oder systematische Missklassifikationen der verordneten Maßnahmen auf Grundlage der öffentlich verfügbaren NPI Daten (infas) nicht gänzlich ausgeschlossen werden können.

Ein weiterer limitierender Faktor dieser Analyse ist, dass sie auf der Dokumentation der Maßnahmen innerhalb eines Systems basiert. Dieses fasst die Maßnahmen in vorgegebenen Variablen zusammen und kann daher Unterschiede nur im Rahmen dieser Variablen erfassen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Anwendung mancher NPI bei gleicher Dokumentation über die Wellen verändert hat. Insofern ist ein Vergleich der Wirksamkeit der NPI zwischen den verschiedenen Wellen nur eingeschränkt möglich. Manche NPI wurden nur sehr selten eingesetzt, andere NPI wiederum, etwa die Schließung von Einrichtungen des Nachtlebens wurden über sehr lange Zeit beibehalten.

Insbesondere in der ersten Infektionswelle, aber auch später wurden viele NPI zum gleichen Zeitpunkt eingeführt oder gelockert. Dadurch wirkten diese NPI parallel auf die Ausbreitung der

COVID-19-Epidemie und konnten nicht separat bewertet werden. Interaktionen zwischen den verordneten Maßnahmen wurden nicht untersucht.

Bei der Interpretation der Daten ist zudem zu bedenken, dass auch die Ergebnisse bei der Regression auf R-Werte nicht vollständig unabhängig von der Teststrategie sind. Zwar können sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Inzidenzen Trends gut abgebildet werden, eine Änderung der Teststrategie kann jedoch selber zu steigenden oder fallenden Inzidenzen führen und daher in dem Zeitraum der Strategieänderung dann auch zu verzerrten R-Werten.

Insgesamt sollte die Reproduktionszahl nicht als alleiniges Maß zur Bewertung über die Wirksamkeit bzw. Notwendigkeit von NPI verwendet werden, sondern in Verbindung mit wichtigen weiteren Maßen wie etwa der Anzahl an inzidenten Fällen (21, 22). Zum Beispiel stellt ein R-Wert von 1 bei niedrigen 7-Tage Inzidenz normalerweise keine unmittelbare Bedrohung dar, während es bei hohen 7-Tage-Inzidenzen leicht zu einer hohen Zahl an schwer verlaufenden Infektionen kommen kann (22). Auch lässt sich die Situation bei hoher 7-Tage-Inzidenz vermutlich nicht über gezielte lokale Maßnahmen bei einzelnen Ausbruchsgeschehen, sondern nur über systematische NPI Maßnahmen unter Kontrolle bekommen. Aus diesem Grund wurde die Analyse der NPI Maßnahmen in Deutschland mit der jeweiligen 7 Tage-Inzidenz gewichtet.

3. Literaturverzeichnis

1. Böhmer MM, Buchholz U, Corman VM, Hoch M, Katz K, Marosevic DV, et al. Investigation of a COVID-19 outbreak in Germany resulting from a single travel-associated primary case: a case series. *Lancet Infect Dis.* 2020;20(8):920-8.
2. Streeck H, Schulte B, Kummerer BM, Richter E, Holler T, Fuhrmann C, et al. Infection fatality rate of SARS-CoV2 in a super-spreading event in Germany. *Nat Commun.* 2020;11(1):5829.
3. European Centre for Disease Prevention and Control. Guidelines for the implementation of non-pharmaceutical interventions against COVID-19 Key messages General considerations on NPI to control COVID-19. 2020 [22.07.2022] [Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/covid-19-guidelines-non-pharmaceutical-interventions-september-2020.pdf>].
4. Tian H, Liu Y, Li Y, Wu CH, Chen B, Kraemer MUG, et al. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China. *Science.* 2020;368(6491):638-42.
5. van der Heiden M, Buchholz U. Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland. DOI 1025646/65712. 2020.
6. Ferguson N, Laydon D, Nedjati-Gilani G, Imai N, Ainslie K, Baguelin M, et al. Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID19 mortality and healthcare demand. Imperial College London. 2020;10(77482):491-7.
7. Sachverständigenausschuss nach § 5 Absatz 9 Infektionsschutzgesetz Bundesgesundheitsministerium. Evaluation der Rechtsgrundlagen und Maßnahmen der Pandemiepolitik. Bericht des Sachverständigenausschusses nach § 5 ABS. 9 IFSG. Berlin; 2022 30.06.2022.
8. Costa D, Rohleder S, Bozorgmehr K. Impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 incidence and deaths: cross-national natural experiment in 32 European countries. *medRxiv.* 2022.
9. Robert Koch-Institut. Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 und COVID-19: 4. Reproduktionszahl 2022 [17.08.2022] [Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html;jsessionid=B3B0F041BC20A8083E302E7F9EC8F072.internet072?nn=13490888#doc13776792bodyText4].
10. Rohleder S, Costa D, Bozorgmehr K. Area-level socioeconomic deprivation, non-national residency, and Covid-19 incidence: A longitudinal spatiotemporal analysis in Germany. *EClinicalMedicine.* 2022;49:101485.
11. Rue H, Martino S, Chopin N. Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology).* 2009;71(2):319-92.
12. Robert Koch-Institut. ControlCOVID - Optionen zur stufenweisen Rücknahme der COVID-19-bedingten Maßnahmen bis Ende des Sommers 2021 2021 [Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Stufenplan.pdf].
13. Robert Koch-Institut. Vorbereitung auf den Herbst/Winter 2021/22 2021 [Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Vorbereitung-Herbst-Winter.pdf?blob=publicationFile].
14. Robert Koch-Institut. COVID-19-Strategiepapiere und Nationaler Pandemieplan 2022 [Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/ZS/Pandemieplan_Strategien.html].
15. Consolazio D, Sarti S, Terraneo M, Celata C, Russo AG. The impact of school closure intervention during the third wave of the COVID-19 pandemic in Italy: Evidence from the Milan area. *PLoS One.* 2022;17(7):e0271404.
16. Sugishita Y, Kurita J, Sugawara T, Ohkusa Y. Effects of voluntary event cancellation and school closure as countermeasures against COVID-19 outbreak in Japan. *PLoS One.* 2020;15(12):e0239455.

17. Hunter PR, Colon-Gonzalez FJ, Brainard J, Rushton S. Impact of non-pharmaceutical interventions against COVID-19 in Europe in 2020: a quasi-experimental non-equivalent group and time series design study. *Euro Surveill.* 2021;26(28).
18. Mendez-Brito A, El Bcheraoui C, Pozo-Martin F. Systematic review of empirical studies comparing the effectiveness of non-pharmaceutical interventions against COVID-19. *J Infect.* 2021;83(3):281-93.
19. Monnier M, Moulin F, Thierry X, Vandentorren S, Cote S, Barbosa S, et al. Children's mental and behavioral health, schooling, and socioeconomic characteristics during school closure in France due to COVID-19: the SAPRIS project. *Sci Rep.* 2021;11(1):22373.
20. Shen Y, Powell G, Ganser I, Zheng Q, Grundy C, Okhmatovskaia A, et al. Monitoring non-pharmaceutical public health interventions during the COVID-19 pandemic. *Sci Data.* 2021;8(1):225.
21. Robert Koch-Institut. Nowcasting und R-Schätzung: Schätzung der aktuellen Entwicklung der SARS-CoV-2-Epidemie in Deutschland. 2021 [27.07.2022] [Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting.html].
22. UK Health Security Agency. The R value and growth rate. 2022 [28.07.2022] [Available from: <https://www.gov.uk/guidance/the-r-value-and-growth-rate>].
23. Hale T, Webster S, Petherick A, Phillips T, Kira B, Oxford COVID-19. Government Response Tracker, Blavatnik School of Government. Data use policy: Creative Commons Attribution CC BY standard [Internet]. 2020.
24. Kroll LE, Schumann M, Hoebel J, Lampert T. Regional health differences—developing a socioeconomic deprivation index for Germany. *Journal of Health Monitoring.* 2017.

4. Anhang

COVID-19 Pandemic Policy Monitor (COV-PPM)

Methodik

Die seit Januar 2020 auf europäischer Ebene ergriffenen NPI (empfohlene oder rechtsgültige Maßnahmen) wurden ab März 2020 routinemäßig wöchentlich von den offiziellen Webseiten der Regierungen, Gesundheitsministerien, nationalen und subnationalen Gesundheitsbehörden oder -verwaltungen abgerufen und teilweise durch nationale und subnationale Nachrichten und Pressemitteilungen ergänzt, strukturiert dokumentiert und laufend aktualisiert. Die Kategorien von NPI wurden zunächst auf der Grundlage des zu Beginn der Pandemie verfügbaren Wissens über die in den verschiedenen Ländern und Kontexten durchgeführten Maßnahmen entwickelt und später durch weitere Maßnahmen ergänzt. Im weiteren Verlauf wurden diese Kategorien angepasst und erweitert, um das Maßnahmenspektrum über die gesamte COVID-19-Pandemie besser abzubilden.

Die dokumentierten NPI in COV-PPM beziehen sich auf Einschränkungen, Lockerungen, Schließungen oder Änderungen der Funktionsweise in 11 Bereichen des gesellschaftlichen Lebens: öffentliche Veranstaltungen, öffentliche Einrichtungen (z.B. Schulen, Universitäten), öffentliche Räume (z.B. Geschäfte, Bars, Restaurants), öffentliche Verkehrsmittel, Mobilität der Bevölkerung, Grenzschießungen, Maßnahmen zur Verbesserung des Gesundheitssystems (z.B. personelle oder technische Verstärkung), Maßnahmen für vulnerable bzw. Risikogruppen, wirtschaftliche Maßnahmen (z.B. Festlegung von Entlassungsregeln), Testverfahren, Vorschriften für das Tragen einer Mund-Nase-Bedeckung, Impfungen und andere/sonstige Maßnahmen.

Für jede NPI-Kategorie kodierte ein wissenschaftliches Team der Universität Bielefeld das genaue Start- und Enddatum der implementierten Maßnahmen und lieferte zudem eine inhaltliche Beschreibung der relevanten Informationen in zusätzlichen Kommentarfeldern. Auf subnationaler Ebene erfolgte die Dokumentation auf Ebene der Bundesländer bzw. der jeweiligen Corona-Verordnungen. Im Zeitraum März 2020 bis Februar 2021 erfolgte zudem eine Dokumentation der Maßnahmen auf Ebene ausgewählter Stadt- und Landkreise.

Für die auf Ebene der europäischen Länder sowie auf Bundes- und Kreisebene in Deutschland gesammelten Daten wurde eine Qualitätsbewertung durchgeführt. In einer quantitativen Komponente stellte das Team die gesammelten Maßnahmen mithilfe interaktiver Grafiken dar, die eine Visualisierung der Daten im Zeitverlauf für jede geographische Einheit (EU-Land, bzw. Bundesland oder Stadt- und Landkreis) ermöglichten, um potenziell unplausible zeitliche Abfolgen von NPIs zu identifizieren. Nach der Identifikation möglicher Kodierungsfehler, die in den Grafiken identifiziert wurden, wurden die einzelnen Datensätze der Länder bzw. Bundesländer und Kreise überprüft und Auffälligkeiten dokumentiert. Die qualitative Komponente des Verfahrens folgte als zweiter Schritt und umfasste die Überprüfung der erfassten Auffälligkeiten in Abgleich mit den zugehörigen inhaltlichen Beschreibungstexten und Primärquellen. Vorhandene Kodierungsfehler wurden anschließend bereinigt.

Ergebnisse

Der COV-PPM-Datensatz ermöglicht die Untersuchung zahlreicher Forschungsfragen im Zusammenhang mit den Auswirkungen spezifischer Maßnahmen auf die COVID-19-Pandemie in verschiedenen geografischen Regionen (32 europäische Länder, einschließlich subnationaler Ebenen für Deutschland). Zudem können potentielle Assoziationen mit relevanten

gesellschaftlichen Faktoren (z. B. ökonomische oder demographische Indikatoren) und der Wirksamkeit von NPI unter Berücksichtigung anderer kontextbezogener Merkmale der Bevölkerung untersucht werden. Die Dokumentation trägt somit zum wissenschaftlichen Prozess der Wissenskonsolidierung über NPI und ihrer Wirksamkeit in der europäischen Region und auf Bundeslandebene in Deutschland bei.

Diskussion

Der COV-PPM Datensatz teilt einige der Ansätze und Überlegungen anderer NPI-Tracker, unterscheidet sich jedoch in seiner Methodik von anderen Systemen (23). Ziel war es, die NPI in 32 europäischen Ländern prospektiv zu monitoren, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf Deutschland lag, wo NPI auf Bundesland- und teilweise auch Kreisebene dokumentiert wurden. Die in Deutschland auf der Ebene der 16 Bundesländer erhobenen Daten wurden laufend aktualisiert. Der föderale Charakter Deutschlands impliziert ein gewisses Maß an Autonomie bei der Umsetzung von NPI, deren Wirksamkeit zur Eindämmung der COVID-19 Pandemie regional variieren kann. Die routinemäßige Erfassung der NPI in COV-PPM musste in Anbetracht begrenzter finanzieller und personeller Ressourcen zum einen auf eine konsentiertere Auswahl geographischer Ebenen und Einheiten reduziert werden und zum anderen mussten übergeordnete NPI-Kategorien für die Dokumentation gebildet werden. Die Fortsetzung der Datenerfassung auf der Ebene der 401 deutschen Stadt- und Landkreise war zwar wünschenswert, konnte jedoch aufgrund von Ressourcenbeschränkungen nicht fortgesetzt werden. Die Kategorisierung der NPI wurde im Verlauf der Pandemie angepasst, sowie das Vorgehen bei der Erhebung fortlaufend standardisiert. Die ausführlichen Beschreibtexte zu den einzelnen Kategorien ermöglichen zudem eine feingranulierte Aufschlüsselung spezifischer Bereiche von Maßnahmen.

Literatur:

Bozorgmehr K, Rohleder S, Duwendag S, Mohsenpour A, Saint V, Gold AW, et al. Covid-19 pandemic policy monitor (COV-PPM) - European level tracking data of non-pharmaceutical interventions. Data Brief. 2021;39:107579.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340921008544?via%3Dihub>

Europäische Analyse der NPI

Mit diesem Arbeitspaket wurden die Maßnahmen innerhalb und zwischen 32 europäischen Ländern untersucht, um zu bewerten, welche Kombinationen von NPI in den ersten beiden pandemischen Wellen im Jahr 2020 die COVID-19 Inzidenz sowie assoziierte Todesfälle reduzierten.

Methodik

Das Studiendesign gleicht einem natürlichen Experiment, bei dem die Bevölkerung der Länder wiederkehrend und zu unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils verschiedenen Kombinationen von NPI ausgesetzt war. Aufgrund der variierenden Zeitpunkte und Kombinationen von NPI innerhalb und zwischen den europäischen Ländern fungiert jedes Land zum einen als eigene Kontrolle und zum anderen als Kontrolle für die anderen Länder, die eine andere Kombination von Maßnahmen oder andere zeitliche Sequenzen der Maßnahmenpakete aufweisen. Insgesamt wurden 8512 Länder-Tage in 32 Ländern stratifiziert nach zwei pandemischen Wellen (Welle 1: 27.01.2020 bis 21.06.2020; Welle 2: 24.08.2020 bis 27.12.2020) im Jahr 2020 analysiert.

Es wurde auf die erhobenen täglichen Daten zu acht der 13 NPI-Kategorien des Corona Virus Pandemic Policy Monitor (COV-PPM) zurückgegriffen. Die verwendeten NPI-Kategorien wurden mittels Hauptkomponentenanalyse (principle component analysis, PCA) stratifiziert nach zwei Infektionswellen in drei Komponenten (C1-3) zusammengelegt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um der Kollinearität der zeitgleich ergriffenen Maßnahmen zu begegnen.

In Welle 1 bezogen sich die Komponenten vorwiegend auf folgende Maßnahmen:

- C1: Mobilität der Bevölkerung, öffentliche Verkehrsmittel, Veranstaltungen, Räume
- C2: Verbesserung des Gesundheitssystems, Grenzsicherungen und Reisebestimmungen, Regelungen in öffentlichen Einrichtungen
- C3: Verwendung von Masken

In Welle 2 bezogen sich die Komponenten vorwiegend auf folgende Maßnahmen:

- C1: Regelungen bei öffentlichen Veranstaltungen, im öffentlichen Raum, bei Reisen, in öffentlichen Einrichtungen
- C2: Mobilität der Bevölkerung, öffentliche Verkehrsmittel, Verbesserung des Gesundheitssystems
- C3: Verwendung von Masken

Es wurde eine Paneldatenanalyse durchgeführt und Inzidenzratenverhältnisse ermittelt, um den relativen Unterschied in der COVID-19-Inzidenz oder den damit verbundenen Todesfällen bei einer Änderung der Komponentenwerte im Laufe der Zeit zu untersuchen. Zudem wurden die Modelle nach geographischen Regionen (Süd-, West-, Ost-, Nord-Europa und andere Regionen) stratifiziert.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der PCA stellten heraus, dass die Zusammenstellung der Kombinationen (PCA-Komponenten C1 bis C3) 74% der Varianz in der ersten und 70% der Varianz in der zweiten Welle erklärte. Die Ergebnisse der ersten Welle zeigten in den europäischen Ländern eine signifikante Reduzierung der COVID-19-Inzidenz durch die NPI-Kombination C1 mit einem 28- und 35-tägigen verzögerten Effekt. C2 wies ein vergleichbares Muster wie C1 auf. C3 (Masken)

zeigt eine signifikante Reduzierung der Inzidenz mit dem nicht-verzögertem zeitlichen Effekt sowie für alle anderen verzögerten Effekte, mit Ausnahme der 35-tägigen Verzögerung. In der zweiten Welle hatten Einschränkungen bei öffentlichen Veranstaltungen, öffentlichen Plätzen, Grenzschließungen und Einschränkungen in öffentlichen Einrichtungen (C₁) bei keiner der betrachteten Zeitverzögerungen eine signifikante Auswirkung auf die Inzidenz. Einschränkungen in den Bereichen Mobilität der Bevölkerung, öffentliche Verkehrsmittel und Maßnahmen zur Verbesserung des Gesundheitssystems (C₂) verringerten die Inzidenz nach 21, 28 und nach 35 Tagen signifikant. C₃ (Masken) wies signifikante Assoziationen mit einem Anstieg der Inzidenz für alle betrachteten Zeitverzögerungen auf, jedoch reduzierten sich die Effektschätzer mit zunehmender zeitlicher Verzögerung. In der südlichen Region verringerte C₁ die Inzidenz ohne zeitlich Verzögerung sowie nach 7 und 14 Tagen signifikant. C₂ und C₃ reduzierten die Inzidenz signifikant nach 21 (für C₂), 28 und 35 Tagen. Bei Betrachtung aller Länder war C₁ in der ersten Welle mit einem Anstieg der Todesfälle nach einem 21-, 28- und 35-tägigen verzögerten Effekt assoziiert, die dann in eine Assoziation mit einer Reduzierung der Todesfälle nach 49 Tagen übergang. C₂ zeigte einen vergleichbaren Trend wie C₁ und zwar einen Anstieg der Todesfälle ohne zeitliche Verzögerung sowie nach 21 und 28 Tagen, jedoch gefolgt durch eine Reduzierung der Todesfälle nach 49 Tagen. C₃ verringerte die Zahl der Todesfälle in allen Ländern und für alle betrachteten Zeitverzögerungen signifikant, mit Ausnahme einer 42- und 49-tägigen Verzögerung. Eine Analyse mit anderen NPI-Trackern (z.B. gemäß des Klassifikationssystems der Universität Oxford - OxCGRT) führte zu kohärenten bzw. vergleichbaren Ergebnissen.

Diskussion

Insgesamt deuten die Auswirkungen der NPI auf die COVID-19-Inzidenz darauf hin, dass die Strategien zur Eindämmung der Pandemie die Inzidenz in Europa auf Bevölkerungsebene zumindest teilweise verringern konnte. Es ist anzumerken, dass die Ergebnisse zur Effektivität der Maßnahmen möglicherweise nur für die beobachteten Zeiträume im Jahr 2020 gelten, d. h. zu einem Zeitpunkt als die Bevölkerung immunologisch naiv war und keinen Zugang zu Impfungen hatte. Die empfohlene bzw. obligatorische Verwendung von Masken scheint auf Basis der Erkenntnisse der durchgeführten Studie die Anzahl von COVID-19 Fällen und Todesfällen auf Bevölkerungsebene konsequent zu reduzieren.

Es wurde ein standardisiertes Verfahren zur Überwachung und Kodierung der in Europa ergriffenen NPIs verwendet und auf ein natürliches Experiment zurückgegriffen, das sich als geeignetes Studiendesign zur Analyse der Auswirkungen der Pandemiemaßnahmen erweist. In einem Paneldesign dient jedes Land als seine eigene Kontrolle, während länderübergreifende Unterschiede gleichzeitig berücksichtigt wurden. Zudem korrigiert das Paneldesign für etwaige unbeobachtete zeitinvariante Einflussfaktoren. Die Schätzungen sind jedoch dadurch eingeschränkt, dass sie die Wirkung der einzelnen NPIs nicht aufschlüsseln, sondern die unabhängige – d.h. gegenseitig adjustierte - Wirkung von drei NPI-Kombinationen bewerten, die einen hohen Anteil der Varianz in Europa erklären. Trotz dieser Einschränkung wird eine Hauptkomponentenanalyse als robustes Instrument angesehen, um die Herausforderung von gleichzeitig auftretenden Maßnahmen in Wirksamkeitsstudien zu bewältigen. Die Sensitivitätsanalyse unter Verwendung von NPIs der OxCGRT Kategorisierung bestätigten jedoch die Muster, die durch die Analyse der COV-PPM Daten ermittelt wurden.

Literatur

Costa C, Rohleder S, Bozorgmehr K. Impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 incidence and deaths: cross-national natural experiment in 32 European countries. medRxiv Preprint. 2022. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2022.07.11.22277491v2>

Sozioökonomische Analyse

Untersuchungen zu sozioökonomischen Ungleichheiten bei der Morbidität und Mortalität von COVID-19 zeigten, dass weniger privilegierte Gruppen ein höheres Risiko für Infektionen, schwere Krankheitsverläufe und Krankenhausaufenthalte hatten und auch eine höhere assoziierte Mortalität aufwiesen. Die Beziehung zwischen der COVID-19-Inzidenz und sozioökonomischen Faktoren kann jedoch mit demografischen und geografischen Merkmalen interagieren, die das Pendlermuster oder die Bevölkerungsdichte beeinflussen, sowie mit räumlichen und zeitlichen Schwankungen der Inzidenz. Migration und Wohnsegregation können sich zudem auf Ebene der Stadt- und Landkreise mit sozioökonomischen Faktoren überlagern und dazu führen, dass die sozioökonomischen Determinanten der COVID-19-Pandemie und die migrationsbezogenen Faktoren jeweils über- oder unterschätzt werden.

Unter Verwendung national repräsentativer Daten auf Stadt- und Landkreisebene in Deutschland war es das Ziel dieser Teilstudie, den Zusammenhang zwischen sozioökonomischer Deprivation auf Kreisebene sowie dem Anteil ausländischer Einwohnerinnen und Einwohner als Proxy für migrationsbedingte Faktoren und der COVID-19-Inzidenz zu quantifizieren. Es wurden zudem demografische Merkmale, Impfddeckung, Siedlungsstruktur sowie räumliche und zeitliche Effekte berücksichtigt. Ferner wurden die potenziellen Pfade von der regionalen Deprivation zur COVID-19-Inzidenz, die Deprivations-Dimensionen sowie potenzielle Wechselwirkungen zwischen sozioökonomischer Benachteiligung, dem Anteil der ausländischen Bevölkerung und dem Geschlecht untersucht.

Methodik

Es wurde eine kleinräumige räumlich-zeitliche Längsschnittanalyse auf der Ebene von 401 Stadt- und Landkreisen in Deutschland von Kalenderwoche 02-2020 bis 20-2021 durchgeführt. Darüber hinaus wurde eine stratifizierte Analyse nach den ersten drei Infektionswellen in Deutschland und eine disaggregierte Analyse auf Grundlage der Deprivations-Dimensionen Einkommen, Bildung und Beschäftigungsstatus umgesetzt. Es wurden national repräsentative Daten auf Kreisebene aus folgenden Quellen miteinander verknüpft: a) COVID-19-Inzidenz, b) sozioökonomische Deprivation, c) Wohnbevölkerungsstatistiken, d) Siedlungsstruktur und e) geografische Daten.

Die primär interessierende Exposition war die sozioökonomische Deprivation, die anhand der Quintile des German Index of Socioeconomic Deprivation (GISD - Version 2021) definiert wurde (24). Der Anteil der Bevölkerung mit ausländischer Staatsangehörigkeit je Kreis wurde den Quintilen zugeordnet. Der Zusammenhang zwischen sozioökonomischer Benachteiligung, dem Anteil ausländischer Einwohner und der COVID-19-Inzidenz wurde sowohl für den gesamten Studienzeitraum als auch stratifiziert nach Infektionswellen unter Verwendung von Bayes'schen räumlich-zeitlichen Modellen mit gemischten Effekten, die mit dem Ansatz der Integrated Nested Laplace-Approximation (INLA) umgesetzt wurden, untersucht.

Ergebnisse

Nach vollständiger Adjustierung um die berücksichtigten festen und zufälligen Effekte konnte ermittelt werden, dass die sozioökonomische Deprivation auf Kreisebene positiv mit der COVID-19-Inzidenz im Studienzeitraum insgesamt assoziiert war.

Das Risiko für das Auftreten von COVID-19 war in Gebieten mit der höchsten sozioökonomischen Deprivation um 15 % höher als in Gebieten mit der geringsten Deprivation.

In Kreisen mit niedrig-mittlerer, mittlerer und hoher sozioökonomischer Benachteiligung war das Risiko der COVID-19-Inzidenz um 6 %, 8 % bzw. 5 % höher als in Kreisen mit der geringsten Benachteiligung. In der ersten Welle wurde ein inverser Zusammenhang mit einem um 18 % bzw. 19 % niedrigerem Risiko in den am stärksten und mittelstark benachteiligten Gebieten im Vergleich zu den am wenigsten benachteiligten Gebieten festgestellt. Dies deutete daraufhin, dass die erste Welle zunächst durch sozial eher privilegierte Bevölkerungsgruppen getrieben wurde. In der zweiten Welle verschob sich der inverse Zusammenhang und zeigte einen Gradienten von der niedrig-mittleren bis zur höchsten Deprivation, wobei das Risiko in den am stärksten deprivierten Gebieten mit 11 % am höchsten ausfiel. In der dritten Welle nahm der in der zweiten Welle beobachtete Risikogradient zu.

Für die Deprivations-Dimensionen wurde innerhalb des gesamten Studienzeitraumes ein höheres Risiko in Gebieten mit niedrigerem Bildungsniveau (96 %) und Einkommensniveau (14 %) festgestellt, jedoch ein geringeres Risiko in Gebieten mit niedrigerem Beschäftigungsstatus (45 % geringeres Risiko). In der ersten Welle wurde ein um 87 % höheres Infektionsrisiko in Kreisen mit höherem Einkommen festgestellt. Dieser Zusammenhang verlagerte sich in der zweiten Welle auf ein 10 % höheres Risiko in Kreisen mit niedrigerem Einkommen, das sich in der dritten Welle auf ein 112 % höheres Infektionsrisiko in Kreisen mit niedrigerem Einkommen erheblich erhöhte. In allen Infektionswellen wiesen Gebiete mit niedrigerem Bildungsniveau ein höheres Infektionsrisiko auf, das im Laufe der Infektionswellen zunahm: 60 % (erste Welle), 77 % (zweite Welle), 151 % (dritte Welle).

Der Anteil der Bevölkerung mit ausländischer Staatsangehörigkeit auf Kreisebene wies innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums und über die Infektionswellen hinweg einen zunehmenden Risikogradienten vom niedrig-mittleren bis zum höchsten Quintil auf. Während des gesamten Untersuchungszeitraums wiesen Kreise mit mittelhohem und höchstem Anteil von Personen mit ausländischer Staatsangehörigkeit im Vergleich zu Kreisen mit dem niedrigsten Anteil ein um 9 % bzw. 16 % höheres Risiko für eine SARS-CoV-2-Infektion auf. In der ersten Welle wurde in Kreisen mit einem höheren Anteil von Personen mit ausländischer Staatsangehörigkeit in den beiden höchsten Quintilen im Vergleich zu Kreisen mit niedrigstem Anteil ein um 29 % bzw. 52 % höheres Infektionsrisiko festgestellt. In der zweiten Welle wiesen die Kreise mit einem höheren Anteil von Personen mit ausländischer Staatsangehörigkeit in beiden höchsten Quintilen ein um 13 % bzw. 21 % höheres Risiko auf als die Gebiete mit dem niedrigsten Anteil. In der dritten Welle wurde ein ähnliches Gefälle bei den Risikoschätzungen festgestellt.

Diskussion

Während sich die Richtung des sozialen Gradienten bei der COVID-19-Inzidenz verschob und über die drei Wellen hinweg zum Nachteil von stärker benachteiligten Regionen wurde, nahm die Stärke des Zusammenhangs zwischen migrationsbedingten Faktoren und der COVID-19 Inzidenz im Verlauf der Zeit ab, was auf einen relativ hohen Stellenwert migrationsbezogener Aspekte in den frühen Phasen der Pandemie hindeutet. Das Ausmaß des sozialen Gefälles im Laufe der Zeit deutet auf eine späte Verbreitung von Schutzmaßnahmen für Migrantenpopulationen hin, während die Bedeutung sozioökonomischer Faktoren und der Schutz der Bevölkerung in stark deprivierten Regionen bei der Entwicklung der Pandemie von der ersten zur dritten Welle eine stärkere Aufmerksamkeit erfordert hätte, um das festgestellte höhere Risiko abzumildern.

Es wurde gezeigt, dass der soziale Status und migrationsbedingte Faktoren unabhängig voneinander wirken können und zusammen berücksichtigt werden müssten, um maßgeschneiderte und gezielte Maßnahmen zu entwickeln. So können beispielsweise in Gebieten mit hoher Deprivation und hohem Anteil von Einwohnern mit ausländischer Staatsangehörigkeit andere Maßnahmen erforderlich sein als in Gebieten mit geringer Deprivation und geringer Anteil von Einwohnern mit ausländischer Staatsangehörigkeit. Vor allem bei der Kommunikation von NPI und den Priorisierungsplänen für Impfungen in künftigen Infektionswellen oder Pandemien sollten sozioökonomisch benachteiligte Bevölkerungsgruppen und migrationsbedingte Faktoren angemessen berücksichtigt werden. Niedrigschwellige Sozial- und Gesundheitsangebote für benachteiligte, gefährdete Gruppen sollten ausgebaut werden.

Literatur

Rohleder S, Costa D, Bozorgmehr K. Area-level socioeconomic deprivation, non-national residency, and Covid-19 incidence: A longitudinal spatiotemporal analysis in Germany. *EClinicalMedicine*. 2022;10:1485. [https://www.thelancet.com/journals/eclinm/article/PIIS2589-5370\(22\)00215-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/eclinm/article/PIIS2589-5370(22)00215-2/fulltext)

5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur StopptCOVID	8
Abbildung 2: Directed acyclic graph (DAG), auf dessen Grundlage das Modell erstellt wurde (StopptCOVID).	10
Abbildung 3: Vergleich des Verlaufs der 7-Tage-Inzidenz nach Meldedatum und nach Erkrankungsbeginn im Analysezeitraum in Deutschland.	12
Abbildung 4: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des R-Werts im Analysezeitraum in Deutschland.....	12
Abbildung 5: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des logarithmischen R-Werts im Analysezeitraum in Deutschland.	13
Abbildung 6: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI.	20
Abbildung 7: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI mit Einträgen für Korrelationen über 55%.	21
Abbildung 8: Korrelationsmatrix des Aktivierungsprofils der verschiedenen NPI mit Einträgen für Korrelationen über 70%.	21
Abbildung 9: Übersicht über Bereiche, in denen NPI durchgeführt wurden.	22
Abbildung 10: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und der Impfquote für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe im Analysezeitraum in Deutschland.	23
Abbildung 11: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und dem Index für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe im Analysezeitraum in Deutschland.	24
Abbildung 12: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und dem Index für die erste und zweite COVID-19 Impfung nach Altersgruppe und Bundesländern im Analysezeitraum in Deutschland.	25
Abbildung 13: Anteil der Wildtyp-, Alpha- und Deltavarianten an sequenzierten SARS-CoV-2-Proben im Jahr 2021, integrierte molekulare Surveillance, RKI	26
Abbildung 14: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des mittleren Maßnahmenscores im Analysezeitraum in Deutschland (Infas Dokumentation).	28
Abbildung 15: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz und des Maßnahmenscores im Analysezeitraum in den Bundesländern.	29
Abbildung 16: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für den Analysezeitraum, getrennt nach Altersgruppen.	30
Abbildung 17: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 4, getrennt nach Altersgruppen.	30
Abbildung 18: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 3, getrennt nach Altersgruppen.	31
Abbildung 19: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 2, getrennt nach Altersgruppen.	31
Abbildung 20: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Inkrafttreten einer Verordnung und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert für Zeitraum 1, getrennt nach Altersgruppen.	32
Abbildung 21: Werte des Akaike Informationskriteriums (AIC) in Abhängigkeit des gewählten zeitlichen Verzugs zwischen dem Impfdatum und dem Beginn der Wirkung auf den R-Wert in der Altersgruppe 60+ Jahre.	33

Abbildung 22: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach Altersgruppen.....	35
Abbildung 23: Ranking der Ergebnisse des linearen Modells für den adjustierten Effekt der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach Altersgruppen. ..	36
Abbildung 24: Vergleich der Wirkung auf den R-Wert bei Zusammenfassung aller NPI und verschiedener Impfquoten.	37
Abbildung 25: Stabilitätsanalyse 1 der Ergebnisse des linearen Modells	39
Abbildung 26: Stabilitätsanalyse 2 der Ergebnisse des linearen Modells	40
Abbildung 27: Stabilitätsanalyse 3 der Ergebnisse des linearen Modells	41
Abbildung 28: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert), getrennt nach betrachtetem Zeitraum.	43
Abbildung 29: Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) getrennt nach betrachtetem Zeitraum, ohne ausschließlich erste Welle.	44
Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse des linearen Modells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit und ohne Gewichtung.	46
Abbildung 31: Vergleich der Ergebnisse des linearen Modells (Hauptmodell) für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit einem verallgemeinerten linearen Modell mit Gamma-link Funktion.....	47
Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse des Hauptmodells für die adjustierten Effekte der NPI Maßnahmen auf den exponentiellen Trend der 7-Tage-Inzidenz (R-Wert) mit einem Modell basierend auf der rückprojizierten Inzidenz nach Infektionszeitpunkt.	48

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verzeichnis der Modell-Variablen basierend auf der Dokumentation der NPI durch Infas (StopptCOVID-Studie).....	13
---	----

Impressum

Wirksamkeit und Wirkung von anti-epidemischen Maßnahmen auf die COVID-19-Pandemie in Deutschland (StopptCOVID-Studie)

Robert Koch-Institut, 2022

Redaktion

PD Dr. med. Viviane Bremer, Dr. Andreas Hicketier, Dr. Matthias an der Heiden

Autoren und Autorinnen

Dr. Matthias an der Heiden, Andreas Hicketier, PD Dr. med. Viviane Bremer,
(alle RKI), Prof. Dr. Kayvan Bozorgmehr, Dr. Diogo Costa, Sven Rohleder (Universität Bielefeld)



Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit