

MODUS-COVID Bericht vom 18.12.2020

Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kai Nagel, Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik
("VSP"), TU Berlin, nagel@vsp.tu-berlin.de

Arbeitsgruppen Prof. Dr. Christof Schütte, Prof. Dr. Tim Conrad, Zuse-Inst. Berlin ("ZIB")

Arbeitsgruppe Prof. Dr. Dirk Brockmann, Research on Complex Systems ("ROCS"),
Robert-Koch-Institut & HU Berlin

<https://covid-sim.info/>

Zusammenfassung

Die Maßnahmen von Anfang November waren darauf ausgelegt, die Dynamik der Ansteckungen zu verringern und damit die sog. Reinfektionsrate R auf einen Wert unter eins zu bringen. Nach der aktuellen Datenlage zu urteilen, ist dies nicht vollständig gelungen. Seit dem 16.12. gelten weitere Restriktionen. Wir glauben nicht, dass diese weiteren Restriktionen im wortwörtlichen Sinne einschränkend genug sind, um ein schnelles Absinken der Neuinfektionen zu erreichen; wir sind also darauf angewiesen, dass die Bevölkerung sich nochmals deutlich weniger privat trifft als nach den Regeln noch zugelassen.

Wir empfehlen eine stärkere Orientierung an den Krankenhauseingangszahlen; solange diese nicht eine deutliche Tendenz nach unten zeigen, kann keine Entwarnung gegeben werden. Nach unseren Informationen erfolgt die Einlieferung von Fällen mit krankenhauspflchtigem Verlauf im Mittel bereits vier Tage nach Symptombeginn; die RKI Fallzahlen liegen derzeit oft auch nicht schneller vor und sind zusätzlich durch immer wieder notwendige Anpassungen der Teststrategie zum Ablesen von Trends nur schlecht zu interpretieren.

Die geplanten Impfungen sind hilfreich, bringen aber laut unseren Simulationen auch keine schnelle Trendwende. Die Situation wird durch die Verlagerung von Freizeitaktivitäten nach draußen zum Sommer hin ohnehin besser werden; die Impfungen verlagern laut unseren Simulationen den Zeitpunkt, ab dem die Epidemie wieder unter Kontrolle ist, um 2-3 Wochen nach vorne.

Wie in den vorherigen Berichten diskutieren wir die einzelnen Aktivitätentypen. Eine Wiedereröffnung der Schulen ohne flächendeckende Maskenpflicht auch im Unterricht sowie Wechselunterricht halten wir für unverantwortlich, solange die Krankenhauseingangszahlen nicht deutlich nach unten tendieren. Laut unseren Simulationen sind weiterhin Freizeitaktivitäten besonders kritisch für die Infektionsdynamik; eine deutliche Reduktion dieser Komponente wird laut unseren Simulation durch eine Ausgangssperre z.B. ab 20 Uhr erreicht.

Unser mathematisches Modell ist inzwischen dazu in der Lage, ca. 2-wöchige Vorhersagen für alle Bundesländer zu machen. Nötig ist noch eine bessere Identifikation sogenannter change points, da das Modell sonst zu langsam auf Änderungen der Kontaktrestriktionen reagiert.

Einschätzung der derzeitigen Situation

Wie in der Zusammenfassung bereits gesagt, waren die Maßnahmen von Anfang November darauf ausgelegt, die Dynamik der Ansteckungen zu verringern und damit die sog. Reinfektionsrate R auf einen Wert unter eins zu bringen; nach der aktuellen Datenlage zu urteilen, ist dies nicht vollständig gelungen. Dafür gibt es neben den wieder steigenden Fallzahlen des RKI auch weitere Indikatoren: (1) Der *Anteil* der positiven Tests ist in Berlin immer weiter nach oben gegangen (vgl. Fig. 2 grüne Punkte); (2) die sog. "Fieberkurve" der Corona-Datenspende¹ zeigt weiterhin nach oben; (3) die Prognosen unserer Simulationen zeigen, dass die Infektionszahlen weiterhin steigen werden, wenn sich nicht eine signifikante Verhaltensänderung der Bevölkerung einstellt. In unseren Simulationen können wir einen Wert von $R=1$ nur erreichen, wenn angenommen wird, dass die simulierten Personen über die in den Daten sichtbaren Mobilitätseinschränkungen hinaus insbesondere problematische Aktivitäten und Orte gezielt meiden.

Bei den derzeit hohen Fallzahlen führen selbst kleine Überschreitungen der kritischen Schwelle von $R=1$ zu starken Anstiegen der absoluten Zahlen. Wenn eine weitere Belastung der Krankenhäuser vermieden werden soll, müssen wir für die nächsten Wochen also R dauerhaft unter 1 halten.

Unsere Mobilitätsdaten (Fig. 1) zeigen, dass es mit dem Beginn der Herbstferien zu einem Rückgang der aushäusigen Aktivitäten gekommen ist. Nach den Ferien wurde die Reduktion in etwa beibehalten. Da nach den Ferien wieder vermehrt Schulaktivitäten stattfanden, ist davon auszugehen, dass es in anderen Bereichen zu einem Rückgang der aushäusigen Aktivitäten gekommen ist (unter anderem durch den "Lockdown light").

Am 13.12.20 (Sonntag) wurden weitere Maßnahmen beschlossen, die am 16.12.20 (Mittwoch) in Kraft getreten sind. Anders als im Frühjahr ist in unseren Mobilitätsdaten nicht zu erkennen, dass es auf Seiten der Bevölkerung noch vor Beginn der Einschränkungen zu einer Verhaltensanpassung gekommen ist.

Immerhin sehen wir in den Mobilitätsdaten für Mittwoch den 16.12.20 (erster Tag des Lockdowns) eine deutliche Reduktion der aushäusigen Aktivitäten von ca. 30% (vgl. Fig. 1). Da die Analysen unseres Datenlieferanten immer 24 Stunden für die Berechnung benötigen, liegt die Analyse für Donnerstag leider noch nicht vor. Es bleibt zu hoffen, dass die Tendenz zu einer deutlichen Reduktion der aushäusigen Aktivitäten anhält.

¹ Siehe <https://corona-datenspende.de/science/monitor/>

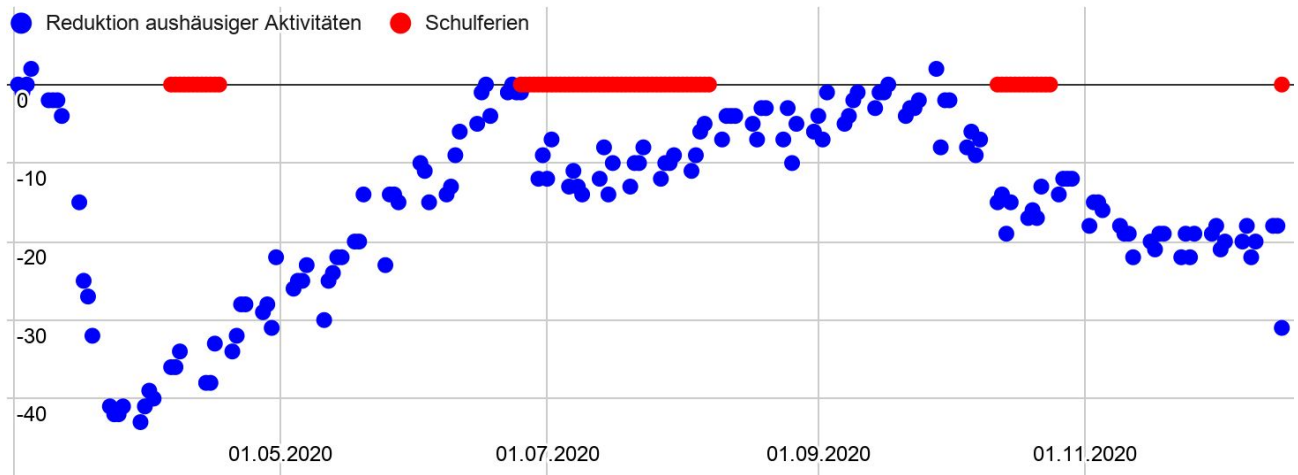


Figure 1: Prozentuale Reduktion der aushäusigen Aktivitäten in Berlin gegenüber normal. Quelle: (Senozon 2020)

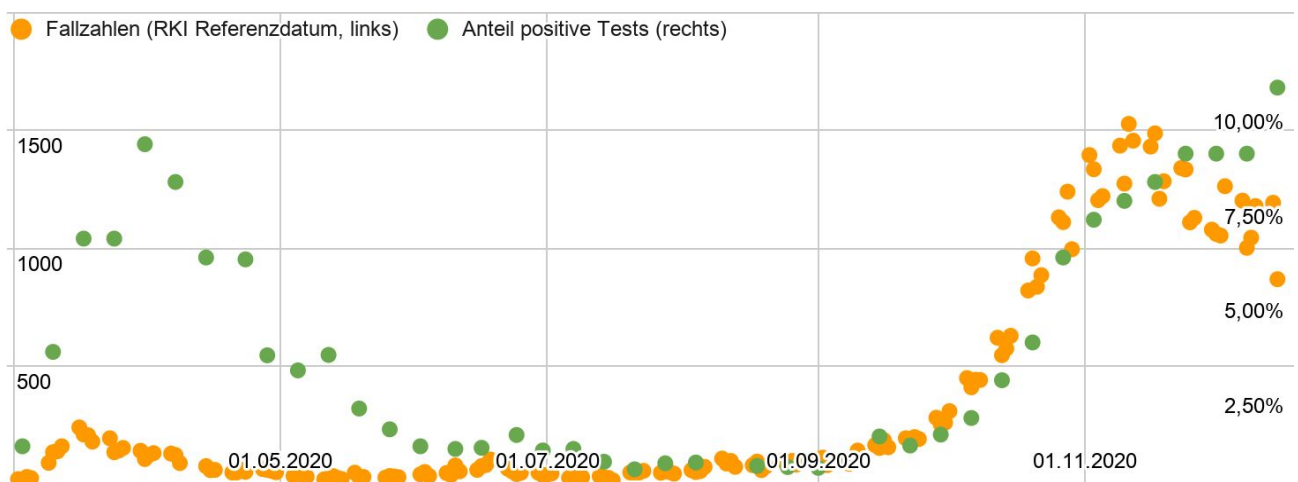


Figure 2: Entwicklung der gemeldeten Fälle (orange) und dem Anteil der positiven Tests (grün). Man beachte, dass der Anteil der positiven Tests auch in den letzten Wochen weiterhin angestiegen ist. Quelle: (Robert Koch-Institut 2020)

Weihnachtsmodell (Nachtrag zum letzten Bericht)

In unserem letzten Bericht haben wir verschiedene Szenarien für die bevorstehende Weihnachtszeit vorgestellt und gezeigt, wie sehr die Dynamik in und nach den Weihnachtsferien vom Verhalten der Bevölkerung abhängig ist. Für diesen Bericht haben wir ein weiteres Szenario gerechnet, in dem es nur an den drei Weihnachtsfeiertagen zu vermehrten Treffen im privaten Bereich kommt (vgl. Modell 2 in Fig. 3). Im Vergleich zu Modell 3, bei dem es zusätzlich an Silvester zu vermehrten Treffen kommt, wird deutlich, wie wichtig es ist, dass es zu Silvester keine Lockerungen gibt, da dies laut unserem Modell einen deutlichen Effekt hätte. Die liegt vermutlich daran, dass Personen, die an Weihnachten angesteckt worden, zu Silvester selber ansteckend werden.

Wie entwickeln sich die Fallzahlen über Weihnachten?

3 Szenarien im Vergleich

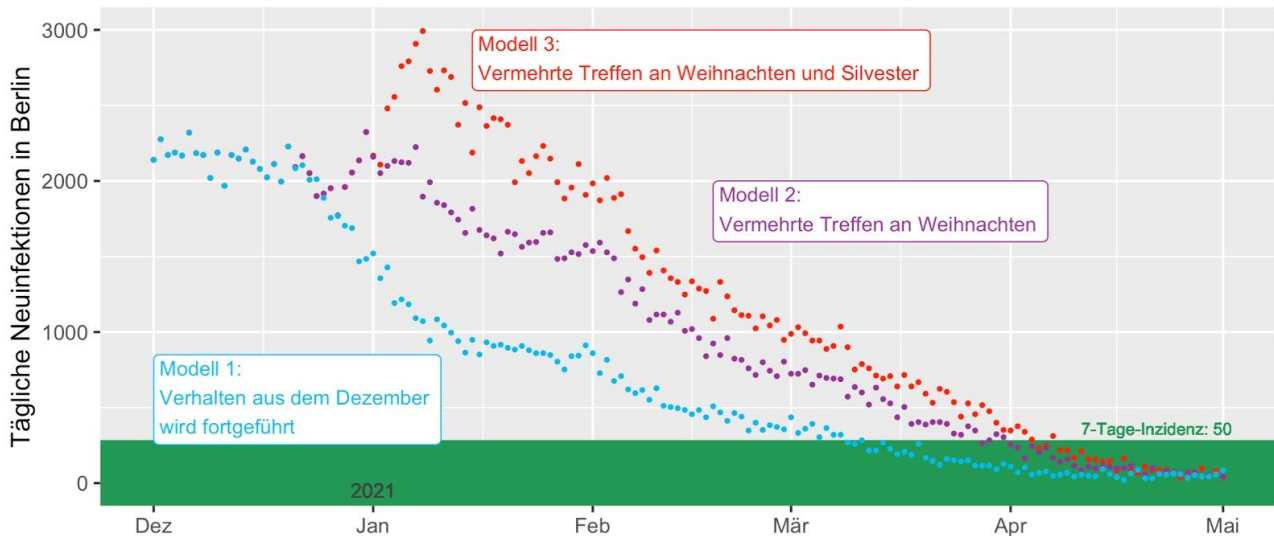


Figure 3: Simulierte tägliche Neuinfektionen in Berlin für die 3 verschiedenen Verhaltensreaktionen über Weihnachten und Silvester

Impfungen

Es ist momentan schwer zu prognostizieren, wie sich die Infektionszahlen entwickeln werden, weil es sehr darauf ankommt, wie die Bevölkerung die bestehenden Regeln ausreizt (siehe auch vorheriges Kapitel). In der Annahme, dass es nur über Weihnachten wieder vermehrte Kontakte gibt, prognostiziert unser Modell, dass wir Anfang April in einen Bereich kommen, in dem die Kontaktnachverfolgung wieder vollumfänglich möglich wird. Dies ist jedoch zusätzlich mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, weil auch das Wetter eine wichtige Rolle spielt, da bei warmen Temperaturen im Frühling ein Teil der privaten Treffen wieder nach draußen verlegt wird (siehe hierzu auch <https://covid-sim.info/2020-12-10/vaccinationsWinterEnd>).

Wir haben unser Modell nun so erweitert, dass einzelne Personen geimpft werden können. Wir gehen dabei davon aus, dass ab dem 04.01.21 geimpft wird und der Impfstoff drei Wochen nach der ersten Impfung eine Effektivität von 90% hat (die Wahrscheinlichkeit sich anzustecken, beträgt für geimpfte Personen also nur noch 10%).² Wir haben untersucht, welchen zusätzlichen Beitrag das Impfen im neuen Jahr leistet, um wieder in den Bereich zu kommen, in dem die Kontaktnachverfolgung voll greift. Die Zahlen beziehen sich wie immer auf Berlin.

² Eine konservativere Annahme, dass die genannte Immunität erst 6 Wochen nach der Erstimpfung erreicht wird, reduziert den "Zusätzlichen Beitrag" um ca. 1 Woche.

Tägliche Kapazität [Erstimpfungen] ³	Anzahl Personen mit Impfschutz	Impfstrategie	Zusätzlicher Beitrag, um wieder in den Bereich der Kontaktnachverfolgung zu kommen
10.000	400.000	Ältere zuerst	Ca. 2 Wochen früher
20.000	400.000	Ältere zuerst	Ca. 3 Wochen früher
10.000	800.000	Ältere zuerst	Ca. 2 Wochen früher
20.000	unbegrenzt	Ältere zuerst	Ca. 3 Wochen früher
10.000	400.000	Zufällig	Ca. 3 Wochen früher
20.000	400.000	Zufällig	Ca. 3 Wochen früher
10.000	800.000	Zufällig	Ca. 3 Wochen früher
20.000	unbegrenzt	Zufällig	Ca. 4 Wochen früher

Aufgrund verschiedener Berichte in den Berliner Tageszeitungen schätzen wir momentan die erste Zeile der Tabelle als realistisch ein (wobei sich aktuell abzeichnet, dass der Impfstart bereits in den Dezember fallen könnte). Unsere Simulationen zeigen, dass Impfungen zwar einen Beitrag leisten, die derzeitigen Probleme aber nicht sofort verschwinden. **Die aktuell hohen Infektionszahlen müssen also weiterhin mit Kontaktbeschränkungen bekämpft werden.**

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, haben wir zwei verschiedene Impfstrategien implementiert. In der ersten Strategie haben wir dem Alter nach geimpft, also die ältesten Personen zuerst. In der zweiten Strategie haben wir zufällige Personen aus der Bevölkerung geimpft. Unsere Simulationen zeigen, dass die Zufallsstrategie die Infektionszahlen schneller reduziert, während die Altersstrategie die Krankenhauszahlen schneller reduziert. Dies lässt sich dadurch erklären, dass jüngere Leute tendenziell mehr Kontakte haben als ältere und dass andererseits die Wahrscheinlichkeit eines schweren Krankheitsverlaufs für ältere Personen höher ist als für jüngere.

Die Simulationsergebnisse sind unter folgendem Link abrufbar:

<https://covid-sim.info/2020-12-10/vaccinations>

<https://covid-sim.info/2020-12-10/vaccinationsWinterEnd>

³ Die Zweitimpfung ist in der Simulation nicht explizit enthalten; die in der Presse berichtete Gesamtkapazität von 20.000 Impfungen pro Tag übersetzt sich also in 10.000 *Erstimpfungen* pro Tag.

Mögliche Maßnahmen aus unserer Sicht

In der internationalen Literatur folgt ein Krankenhauseingang, falls notwendig, im Mittel bereits vier Tage nach Symptombeginn. Dies passt gut zusammen mit der Tatsache, dass der Krankenhauseingang in Berlin der Quote positiver Tests mit weniger als einer Woche Verspätung folgt. Ein eventuell nötiger Übergang in die Intensivmedizin folgt im Mittel bereits einen Tag später. Das legt nahe, dass man sich **in der jetzigen Situation mehr auf die Krankenhauszahlen stützen sollte und weniger auf die RKI Fallzahlen**. Wir können die Gründe nachvollziehen, warum das RKI seine Teststrategie gelegentlich anpasst. Aber solange bei den gemeldeten Fällen nicht notiert wird, aus welcher Komponente des Testens die Fälle stammen (symptombezogenes Testen mit Kontakt/ohne Kontakt, Testen von Reiserückkehrern, etc.), sind die einzelnen Teilstücke der Zeitreihen für die Zwecke unserer Simulation nicht interpretierbar. Wir plotten die RKI Fallzahlen nur noch als einen von mehreren Indikatoren, und geben ihm zunehmend weniger Gewicht.

Eine **sinnvolle Strategie für die nächsten Wochen** wäre also, dass wir **so lange recht schnell weitere Restriktionen einführen, bis die Krankenhauszahlen eindeutig nach unten weisen**. Sobald die Krankenhauszahlen wieder in einem handhabbaren Bereich sind, kann dann über vorsichtige Öffnungen in zentralen Bereichen nachgedacht werden; diese werden im folgenden benannt. **Eine vollständige Öffnung ist u.E. erst wieder bei 7-Tage-Inzidenzen unter 50 möglich; wir sollten uns aber darauf einstellen, dass dies ist vor dem Beginn des wärmeren Wetters nicht mehr zu erwarten ist.**

Ansteckungen in Schulen: Die grüne Linie in Fig. 4 bezeichnet den Anteil der Ansteckungen in Schulen. Man sieht, dass dies laut unseren Rechnungen ein erheblicher Anteil ist. Wir rechnen dabei mit einer reduzierten physiologischen Ansteckbarkeit von Kindern und Jugendlichen (Davies et al. 2020; Dattner et al. 2020); dies wird aber ausgeglichen durch die enge Situation in den Klassenräumen, so dass insgesamt der Beitrag zum Infektionsgeschehen doch deutlich ist.⁴ Eine Simulation in der im Unterricht FFP2-Masken getragen und ein Wechselunterricht ab Januar 2021 stattfindet, zeigt (Fig. 5), ein so starkes Absinken der grünen Linie, dass sie nicht mehr sichtbar ist. (Gerechnet ist das mit FFP2-Masken; die flächendeckende Verwendung von täglich gewechselten OP-Masken wirkt aber ähnlich gut.) **Wir finden es daher unverständlich, dass die vielfach geäußerte Empfehlung, an den Schulen mit Masken und Wechselunterricht zu arbeiten, immer noch nicht so weit wie möglich umgesetzt wird.**

- *Kurzfristige Möglichkeiten:* keine (Schulen sind bereits geschlossen).
- *Mittelfristige Möglichkeiten:* Laut unseren Simulation ist eine Öffnung der Schulen vertretbar, wenn folgendes eingehalten wird: (1) OP-Masken oder FFP2-Masken (vorzugsweise durch die Schulen jeden Morgen neu ausgeteilt) auch während des Unterrichts; (2) Wechselunterricht. Wenn dies als nicht machbar eingeschätzt wird, müssen die Schulen u.E. geschlossen bleiben, bis die Krankenhauszahlen deutlich nach unten zeigen. – Im Gegenzug könnte auf Maskenpflicht während der Pausen dort verzichtet werden, wo im Freien kein Gedränge herrscht.

⁴ Wenn wir die Ansteckbarkeit von Schüler*innen wie die von Erwachsenen annehmen, dann bekommen wir bei den simulierten Fallzahlen im Oktober eine deutliche "Delle", die sich in den realen Fallzahlen so nicht zeigt. Wenn wir hingegen die Ansteckbarkeit von Schüler*innen nochmals deutlich niedriger setzen, dann können wir den dynamischen Anstieg der Fallzahlen im Oktober nicht nachspielen. Dies begründet unseren derzeitigen reduzierten, aber nicht auf Null gesetzten Wert für die Ansteckbarkeit von Schüler*innen.

Ansteckungen in Kindergärten. Kinder im Kindergartenalter haben laut wissenschaftlicher Literatur nochmals geringere Ansteckbarkeit als Kinder im Schulalter. Weiterhin ist ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung kleiner. Ansteckungen in Kindergärten folgen laut unseren Simulationen der dunkelblauen Linie. Man sieht insbesondere im Sommer, als die Kindergärten in Berlin geöffnet wurden, während die Schulen noch zu waren, recht hohe Anteile; eine starke Wirkung auf das Infektionsgeschehen als ganzes hatte dies nicht. – Masken in Kindergärten scheinen unrealistisch; Wechsel"unterricht" auch. Die Schließung von Kindergärten leistet vermutlich einen Beitrag zur Eindämmung des Infektionsgeschehens, aber keinen großen.

- *Kurzfristige Möglichkeiten:* keine (Kindergärten sind bereits geschlossen).
- *Mittelfristige Möglichkeiten:* Sobald die Krankenhauszahlen deutlich absinken, scheint uns eine Wiederöffnung vertretbar.

Ansteckungen beim Einkaufen. Einkaufen ist, zusammen mit "Erledigungen" (Arzttermine etc.) bei uns zu "other" zusammengefasst. Wir vermuten keine hohen Beiträge zum Infektionsgeschehen aus dieser Kategorie. Dies liegt an der Kombination aus durchgehender Maskenpflicht und deutlich weniger räumlicher Enge als z.B. in Schulen. Eine mögliche Wirkung der Schließung liegt vermutlich vor allem in der Signalwirkung.

- *Kurzfristige Möglichkeiten:* keine (Einkaufsmöglichkeiten sind bereits weitgehend geschlossen).
- *Mittelfristige Möglichkeiten:* Sobald die Krankenhauszahlen deutlich absinken, scheint uns eine Wiederöffnung vertretbar, **allerdings mit weiterhin reduzierten Personendichten in den Verkaufsräumen.**

Ansteckungen während der Arbeit. Die räumliche Situation bei der Arbeit ist größtenteils besser als in Schulen; im Gegenzug gibt es keine möglicherweise reduzierte physiologische Ansteckbarkeit. Wir kommen dennoch auf kleinere Anteile bei den Ansteckungen als bei den Schulen (Fig. 4). Falls allerdings Masken/Wechselunterricht in den Schulen umgesetzt würde, wäre es nach "Freizeit" der zweitgrößte Anteil der Infektionen (Fig. 5).

- *Kurzfristige Möglichkeiten:* Durchgehende Maskenpflicht (OP/FFP2) bei der Arbeit in Innenräumen außer im Homeoffice, in Einzelzimmern oder in großen Hallen leistet in unseren Simulationen einen zwar nicht durchschlagenden, aber deutlich wahrnehmbaren Beitrag.

Ansteckungen bei Freizeitaktivitäten. Die räumliche Situation im Freizeitbereich ist abhängig davon, ob die Aktivität drinnen oder draußen stattfindet. Drinnen (also bspw. in Restaurants oder bei Besuchen in privaten Wohnungen) ist anzunehmen, dass die räumliche Situation ähnlich schlecht ist wie in Schulen. Findet die Aktivität draußen statt, ist die Infektionswahrscheinlichkeit stark reduziert. Darauf folgt auch, dass der Beitrag des Freizeitbereichs stark mit dem Wetter schwankt, da bei warmen Temperaturen mehr Aktivitäten draußen stattfinden als bei kalten.

- *Kurzfristige Möglichkeiten:* Die Simulationen zeigen eine **deutliche infektionsreduzierende Wirkung von Ausgangssperren.** Dabei hat eine Ausgangssperre ab 22 Uhr nur schwache Wirkung, Ausgangssperren ab 20 Uhr oder noch besser 18 Uhr zeigen deutliche Wirkung.⁵ Diese Wirkung entsteht in unseren Simulationen hauptsächlich aus der Verkürzung der entsprechenden Freizeitaktivitäten; vgl. die orangen Linien ab dem Weihnachtsspeak in Fig. 4 vs. Fig. 6 Es ist natürlich nicht auszuschließen, dass die Bevölkerung zeitlich nach vorne ausweicht. Eher würden wir allerdings damit

⁵ Vgl. <https://covid-sim.info/2020-12-10/secondLockdown> .

rechnen, dass ein solcher Effekt durch Ausfallenlassen anderer Freizeitaktivitäten in etwa kompensiert würde, und die Wirkung der Ausgangssperre wenigstens kurzfristig daher erhalten bleiben würde.

- *Mittelfristige Möglichkeiten:* Sobald die Krankenhauszahlen runter gehen, scheint uns eine Öffnung vor allem von Veranstaltungsorten denkbar, die möglichst viele der folgenden Kriterien erfüllen: (a) durchgehende Maskenpflicht auch am Sitzplatz; (b) geringe Personendichte; (c) hohe Decken; (d) mechanische Belüftung. Dies dürfte vor allem auf einen Teil der Kultureinrichtungen zutreffen. Sukzessive können die Öffnungen dann auf Veranstaltungsorte ausgedehnt werden, die nur einen Teil der Kriterien erfüllen. Die Innenbereiche der Restaurants können hiernach erst sehr spät wieder geöffnet werden, und auch dann nur mit z.B. gedrittelter Personendichte pro Raum.

Ansteckungen zu Hause: Ansteckungen zu Hause haben aufgrund der räumlichen Nähe und der langen gemeinsamen Zeiten naturgemäß einen hohen Anteil. Dies könnte im Prinzip durch eine Verlagerung von vorbeugender Quarantäne z.B. in Hotels verringert werden; dies ist aber derzeit nicht Bestandteil der Strategie (und bei den derzeit hohen Infektionszahlen vermutlich auch aussichtslos). Es handelt sich also um einen derzeit nicht vermeidbaren Anteil. Naturgemäß geht dieser Anteil sogar noch nach oben, wenn die Infektionen in anderen Lebensbereichen durch Restriktionen reduziert werden. Die manchmal gelesene Aussage, dass der größte Anteil der Infektionen ohnehin zu Hause stattfinden würde, und man könne daher ähnlich hohe Ansteckungen auch außerhalb der Haushalte akzeptieren, verkehrt sich also ins Gegenteil: Bei der derzeitige Strategie sind hohe *Anteile* von Ansteckungen in Haushalten eher ein gutes Zeichen.

Insgesamt: Wir rechnen damit, dass die derzeitigen Regeln (Begrenzung der Teilnehmerzahlen und der Anzahl der Haushalte; Schließung der Geschäfte) Wirkung zeigen werden, aber **wir rechnen nicht mit einem durchschlagenden Erfolg und somit einem schnellen Absinken der belegten (Intensiv-) Betten in Krankenhäusern.** Eine **Wiedereröffnung der Schulen ohne gute Masken, durchgehende Maskenpflicht, und Wechselunterricht halten wir bei den derzeitigen Krankenhauszahlen für unverantwortlich.** Ein **schnelleres Absinken der Infektionszahlen ist laut unseren Simulationen nur möglich, wenn der Freizeitbereich, u.a. Zusammenkünfte in privaten Räumen, weiter eingeschränkt wird.** Eine abendliche Ausgangssperre ist laut unseren Simulationen dafür ein wirkungsvolles Mittel.

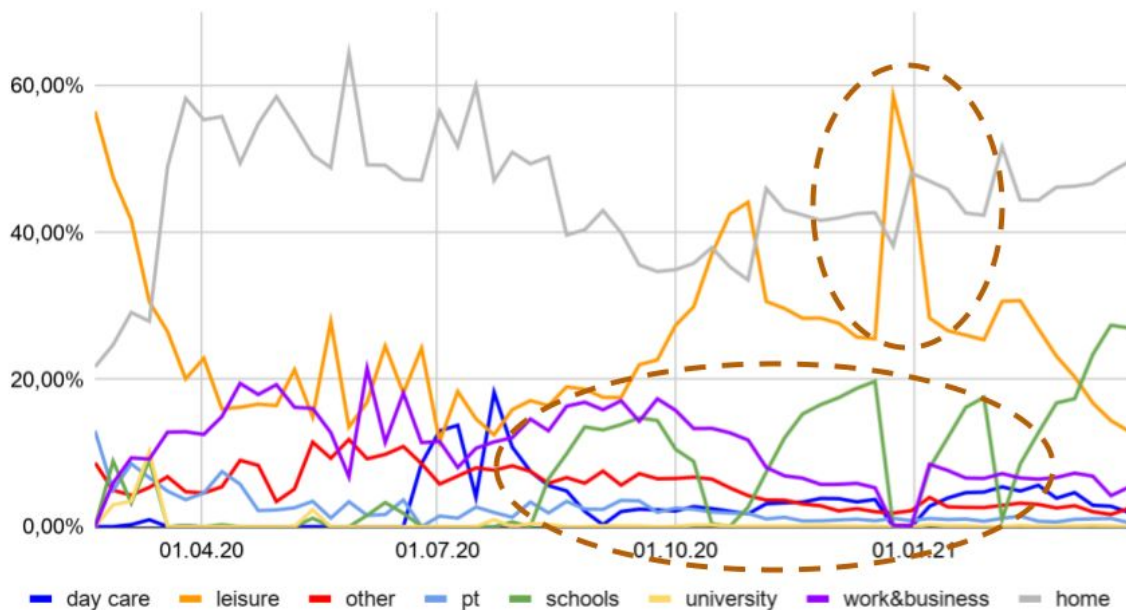


Figure 4: Vorhersage des Anteils verschiedener Aktivitätentypen am Infektionsgeschehen. Gleiches Szenario wie Modell 2 in Fig. 3 (zusätzliche Treffen zu Weihnachten, aber nicht zu Silvester).

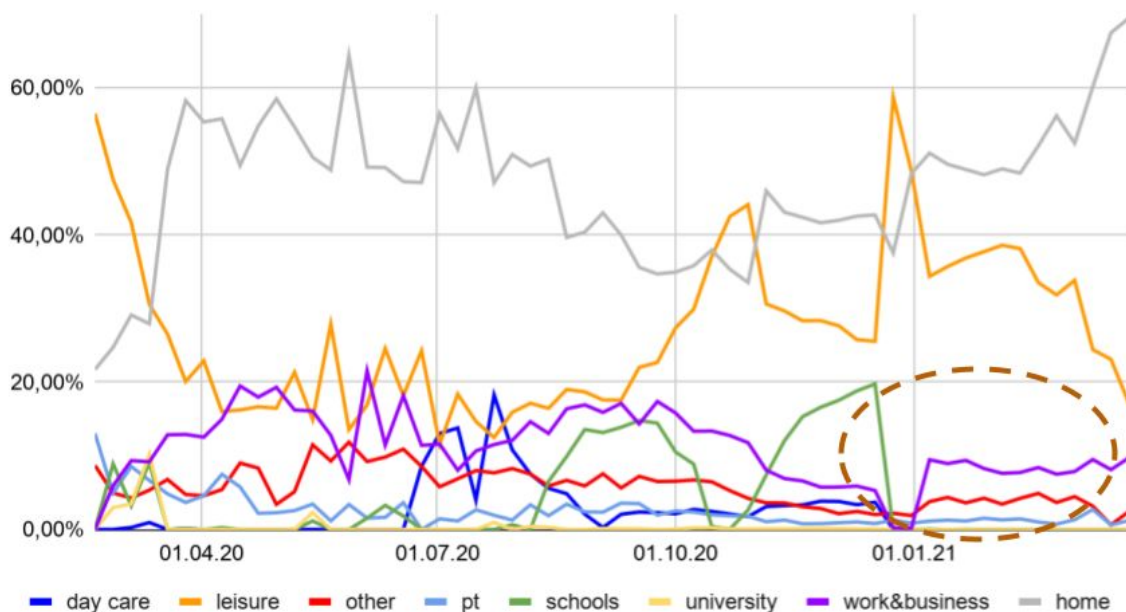


Figure 5: Vorhersage des Anteils verschiedener Aktivitätentypen am Infektionsgeschehen mit Maskenpflicht und alternierendem Unterricht in Schulen im neuen Jahr. Ansonsten gleiches Szenario wie Fig. 4. Man beachte die nun fehlenden Ansteckungen Schulen ab Jahresbeginn.

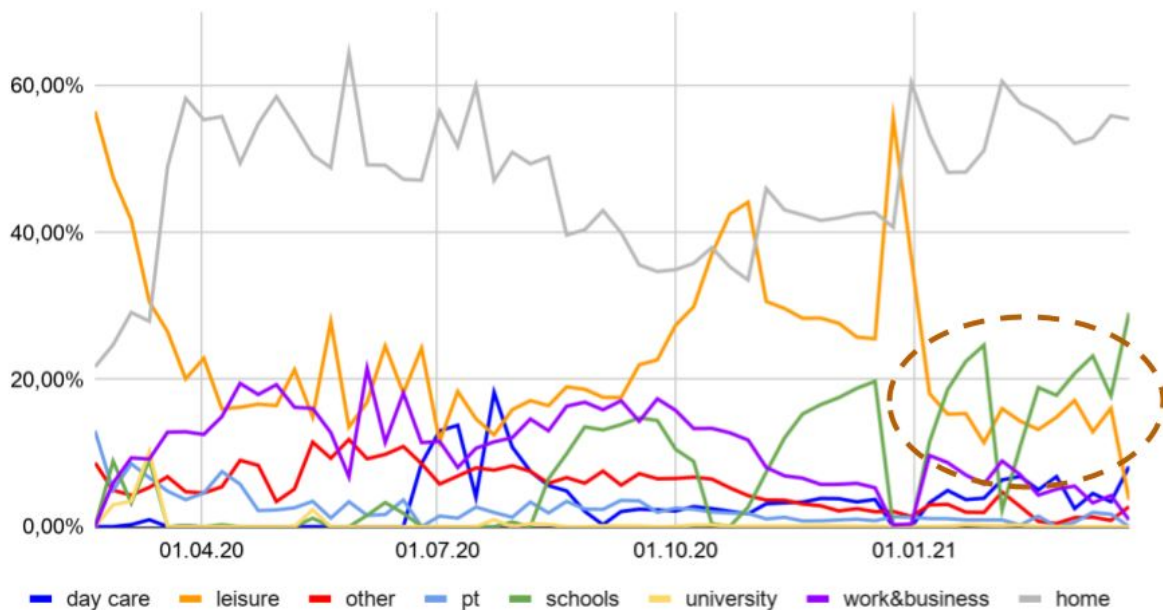


Figure 6: Vorhersage des Anteils verschiedener Aktivitätentypen am Infektionsgeschehen mit einer Ausgangssperre 18-6 Uhr für aushäusige Aktivitäten außerhalb des Bildungs- und Arbeitsbereiches ab dem 21.12.2020 (ausgesetzt über die Weihnachtsfeiertage). Ansonsten gleiches Szenario wie Fig. 4. Man beachte die deutlich reduzierten Ansteckungen im Freizeitbereich.

Die Simulationsergebnisse sind unter folgendem Link abrufbar:

<https://covid-sim.info/2020-12-10/secondLockdown>

Mathematische Modellierung

Hintergrund

Wie in den letzten Berichten bereits beschrieben, haben wir zusätzlich zu dem agentenbasierten Modell ein ODE-basiertes Modell für Berlin (ODE: ordinary differential equations; dt: gewöhnliche Differentialgleichungen) entwickelt. Durch die entwickelte mathematische Kopplung dieses ODE-Modells an das agentenbasierte Modell können sehr schnelle Berechnungen der wichtigsten Kennzahlen in Berlin (z.B. Anzahl belegter Krankenhausbetten) modelliert und eine Prognose erstellt werden. Die mathematischen Grundlagen finden sich in einem als Pre-Print veröffentlichten Artikel, siehe (vgl. Wulkow et al. 2020). Für diesen Bericht haben wir das entwickelte Konzept auf die restlichen 15 Bundesländer angewendet.

Das im vorhergehenden Bericht vom 04.12.2020 (vgl. Müller et al. 2020) beschriebene Problem mit der Überschätzung der Fallzahlen haben wir durch eine Erweiterung der Fitting-Verfahrens gelöst: bisher haben wir vereinfacht angenommen, dass sich die grundlegende Dynamik des Infektionsgeschehens nicht signifikant ändert, was natürlich nicht der Realität entspricht (vgl. Figure 7 (links)). In der neuen Version (vgl. Fig. 7 (rechts)) gehen wir davon aus, dass sich die Dynamik zu einem bestimmten Zeitpunkt im betrachteten Zeitraum einmalig ändert, beispielsweise durch einen Lockdown. Wir haben diesen Zeitpunkt auf den 31.10.2020 gelegt und erhalten so für das resultierende Modell zwei Teile: der erste Teil wird an die Daten bis zum 31.10.2020 gefittet (in

den folgenden Abbildungen in orange, bzw. in grün für die realen Daten). Der zweite Teil wird an die Daten vom 01.11.2020 - 8.12.2020 gefittet (in den folgenden Abbildungen in blau, bzw. in lila für die realen Daten). Das zusammengesetzte Modell besteht also aus der orangenen und blauen Linie. Zur (visuellen) Überprüfung der Prognose sind in rot die realen Daten gezeigt, die **nicht** zum Fitten benutzt wurden - für eine hohe Güte der Prognose spricht hier, wenn die blaue Linie mit den roten Punkten übereinstimmt. Die folgende Abbildung zeigt die Verbesserung der Prognose-Qualität, wenn das verbesserte Modell mit einer Dynamik-Anpassung am 31.10. verwendet wird.

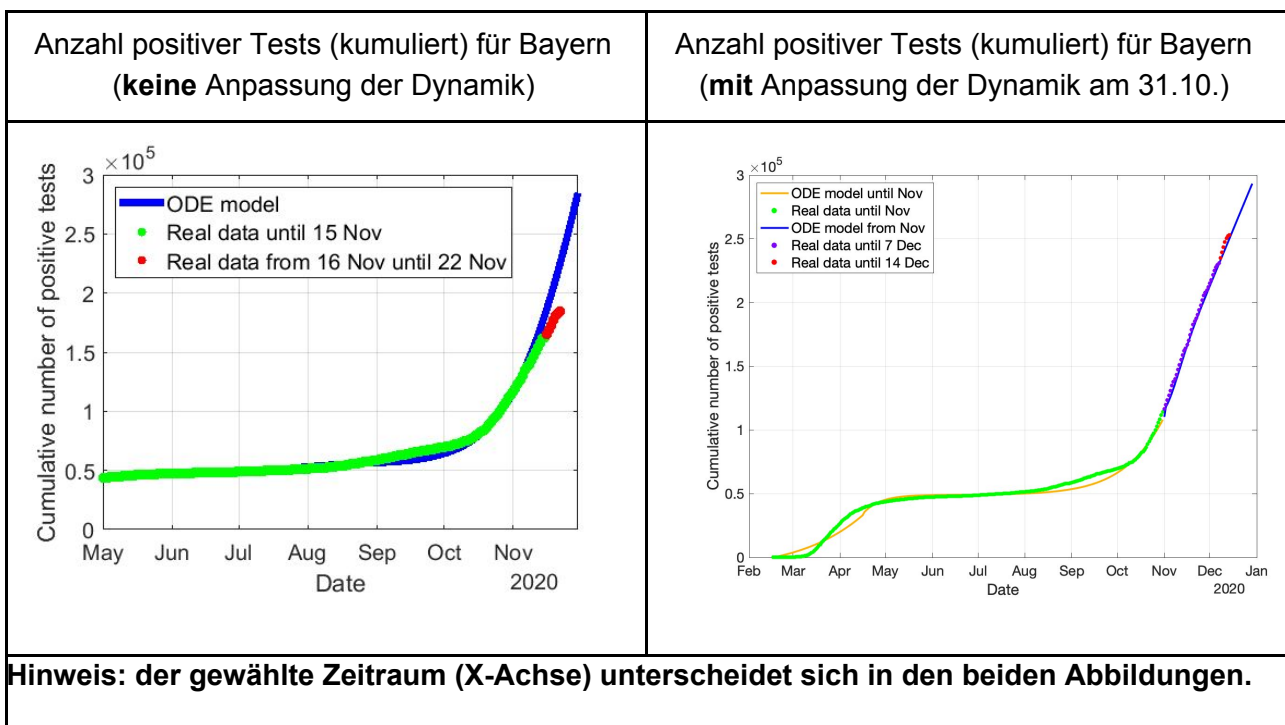


Figure 7: Ergebnisse für das ODE-Modell für Bayern ohne Anpassung (links) und mit Anpassung der Dynamik (rechts).

ODE-Modell-basierte Prognosen für alle Bundesländer

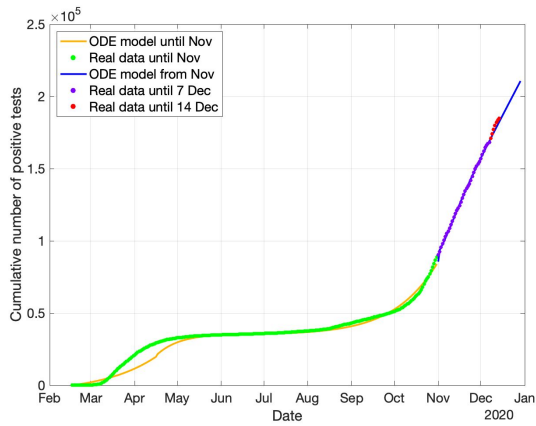
Mit der ODE-Methodik können wir nun problemlos Vorhersagen für alle Bundesländer rechnen. Die Abbildungen im Anhang zeigen die Ergebnisse für die Modellierung der Bundesländer. Es wurden jeweils pro Bundesland die verfügbaren Daten bis zum 07.12.2020 für das Fitten benutzt und dann eine Prognose vom 08.12. - 28.12.2020 erstellt. Die roten Punkte (reale Daten) im Bereich vom 9.12. - 14.12. können (visuell) zur Überprüfung der Prognose-Güte genutzt werden. Diese Punkte wurden nicht zum Fitten des Modells benutzt und sollten - sofern die Modell-Prognose gut ist - mit der blauen Linie (Prognose des Modells) übereinstimmen.

Ausblick: Anpassung der Dynamik

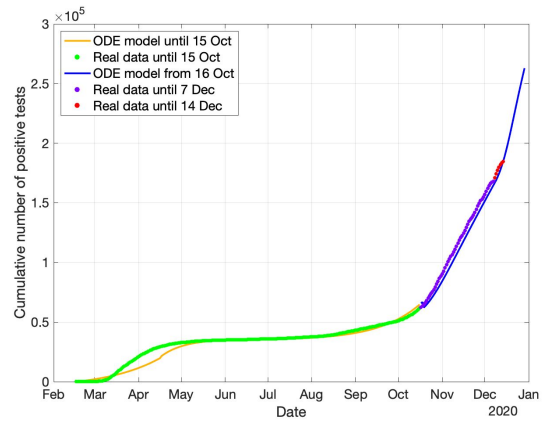
Bisher sind wir davon ausgegangen, dass sich die Dynamik am 31.10. geändert hat. Im nächsten Schritt wollen wir die Methode dahingehend erweitern, dass die Auswahl dieses sog. Changepoints automatisiert und mehrere solcher Zeitpunkte zugelassen werden. Erste Versuche damit erscheinen vielversprechend, wie am Beispiel für Baden-Württemberg zu sehen ist (vgl. Fig. 8).

Baden-Württemberg

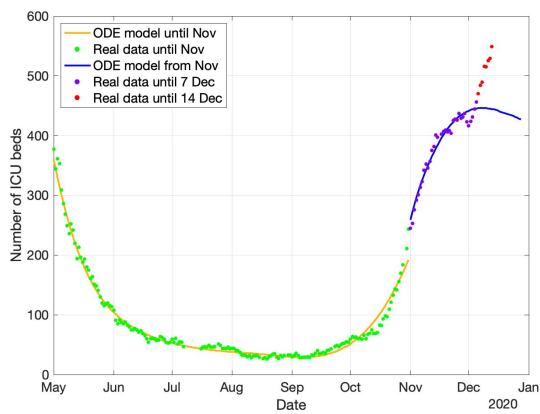
Anzahl positiver Tests (kumuliert) -
Changepoint **31.10.2020**



Anzahl positiver Tests (kumuliert) -
Changepoint **16.10.2020**



Anzahl belegter Intensivbetten -
Changepoint **31.10.2020**



Anzahl belegter Intensivbetten -
Changepoint **16.10.2020**

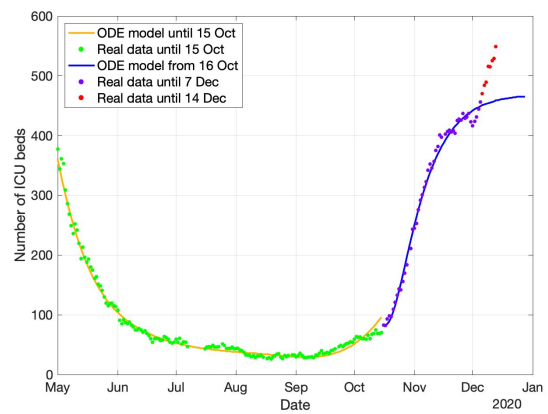


Figure 8: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Baden-Württemberg**, links mit Changepoint am 31. Oktober, rechts mit Changepoint am 16. Oktober, also zwei Wochen früher.

Anhang

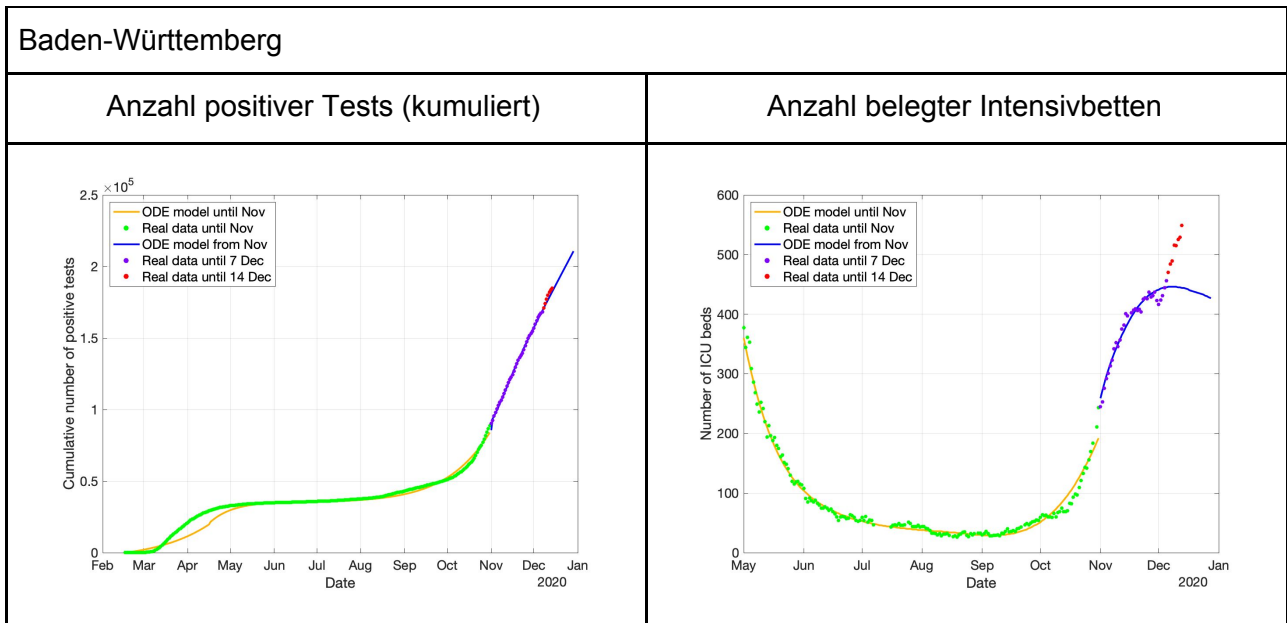


Figure 9: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Baden-Württemberg**

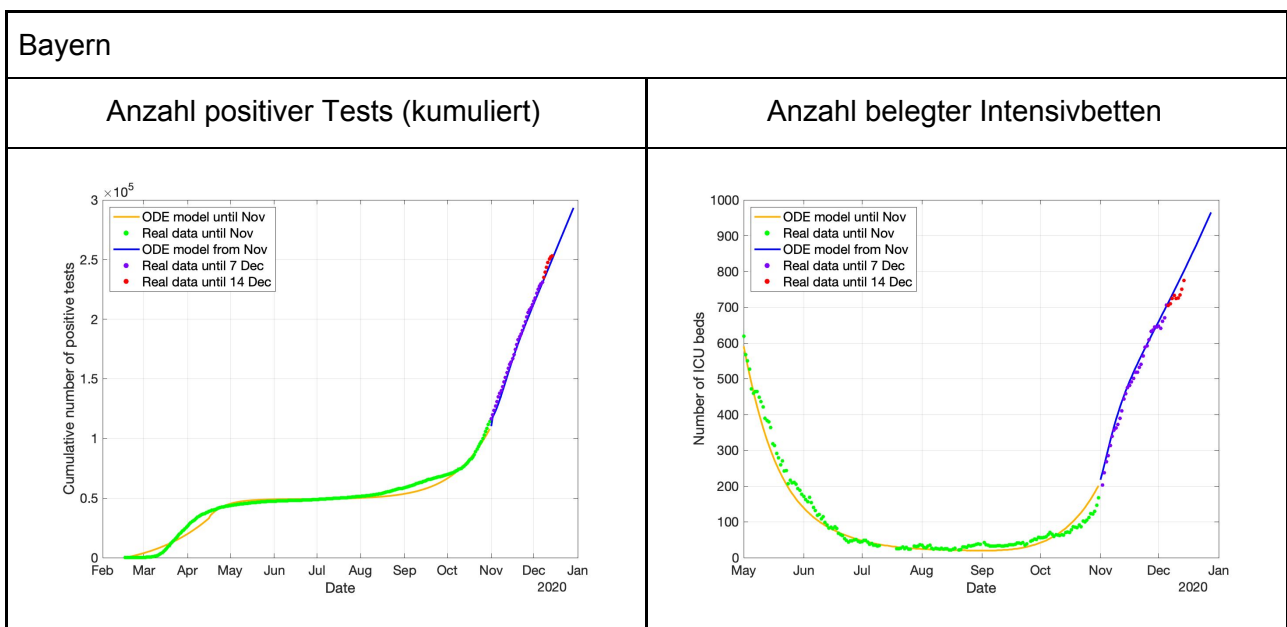


Figure 10: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Bayern**

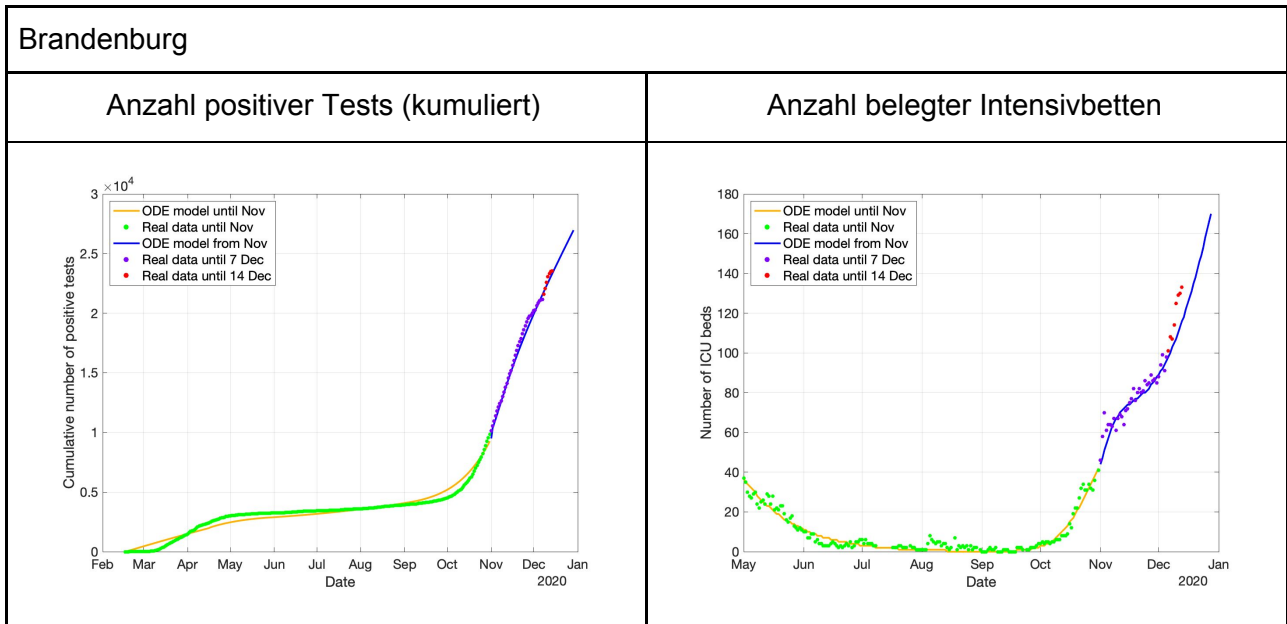


Figure 11: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Brandenburg**

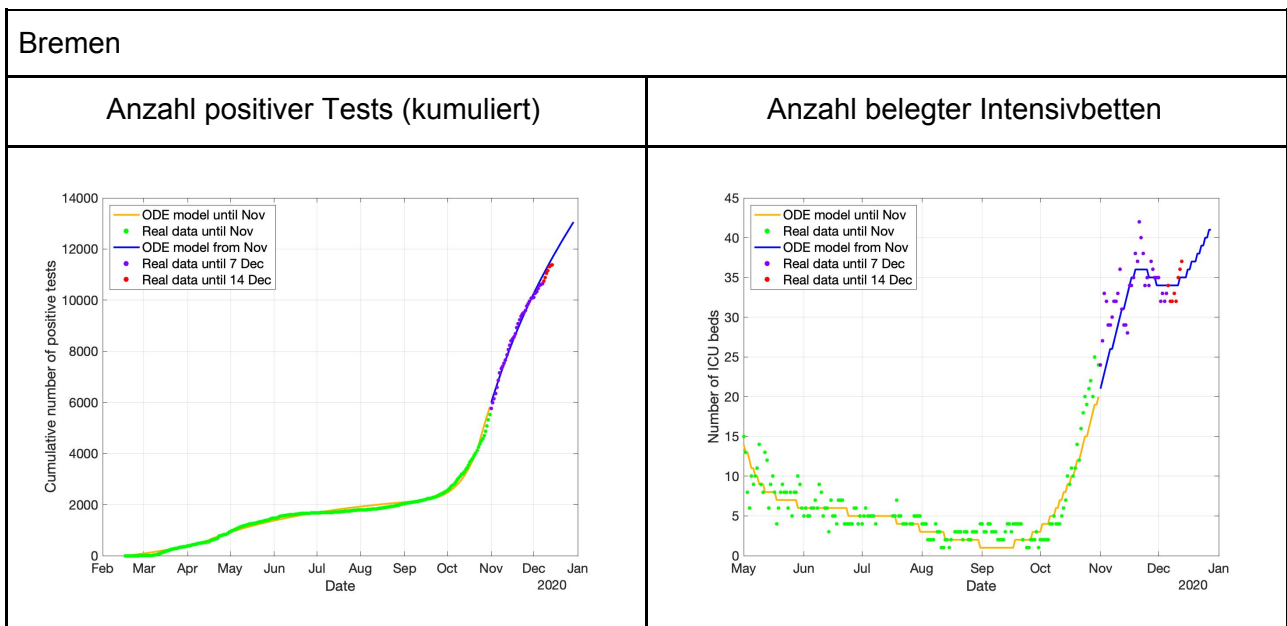


Figure 12: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Bremen**

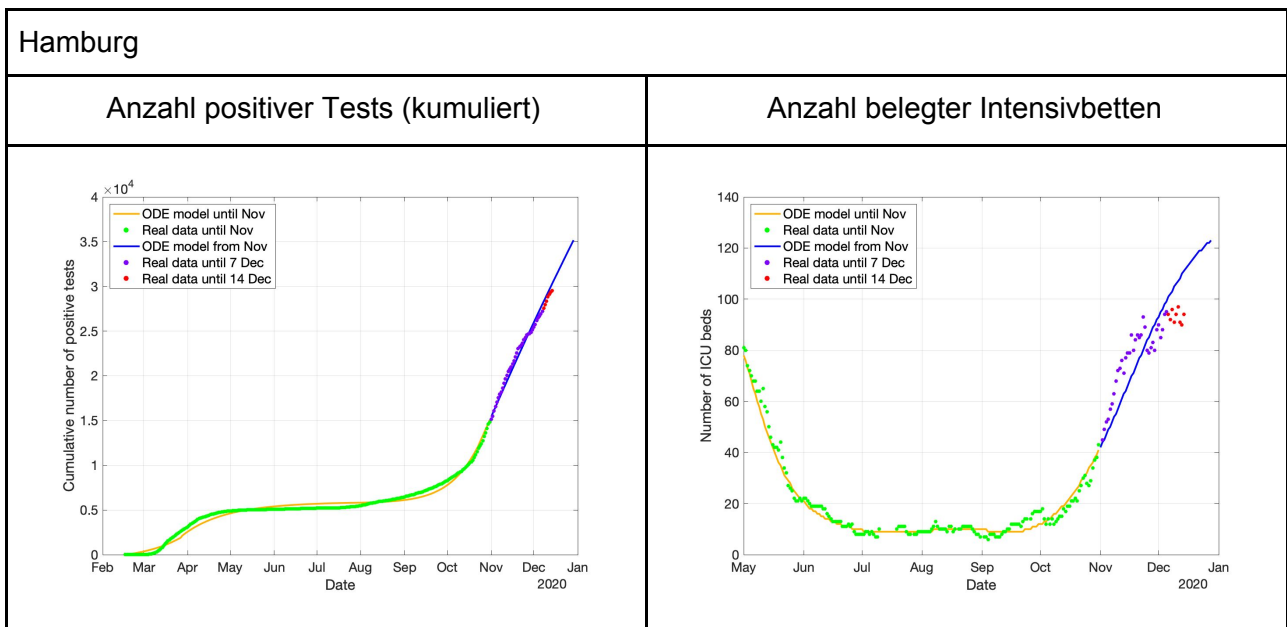


Figure 13: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Hamburg**

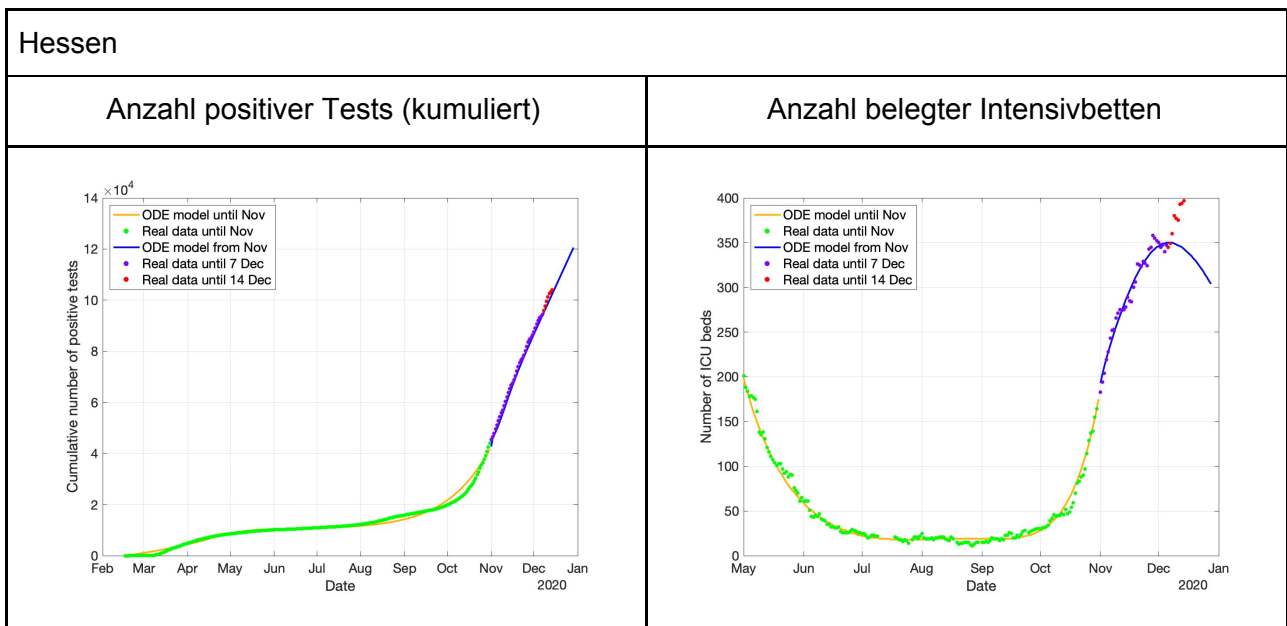


Figure 14: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Hessen**

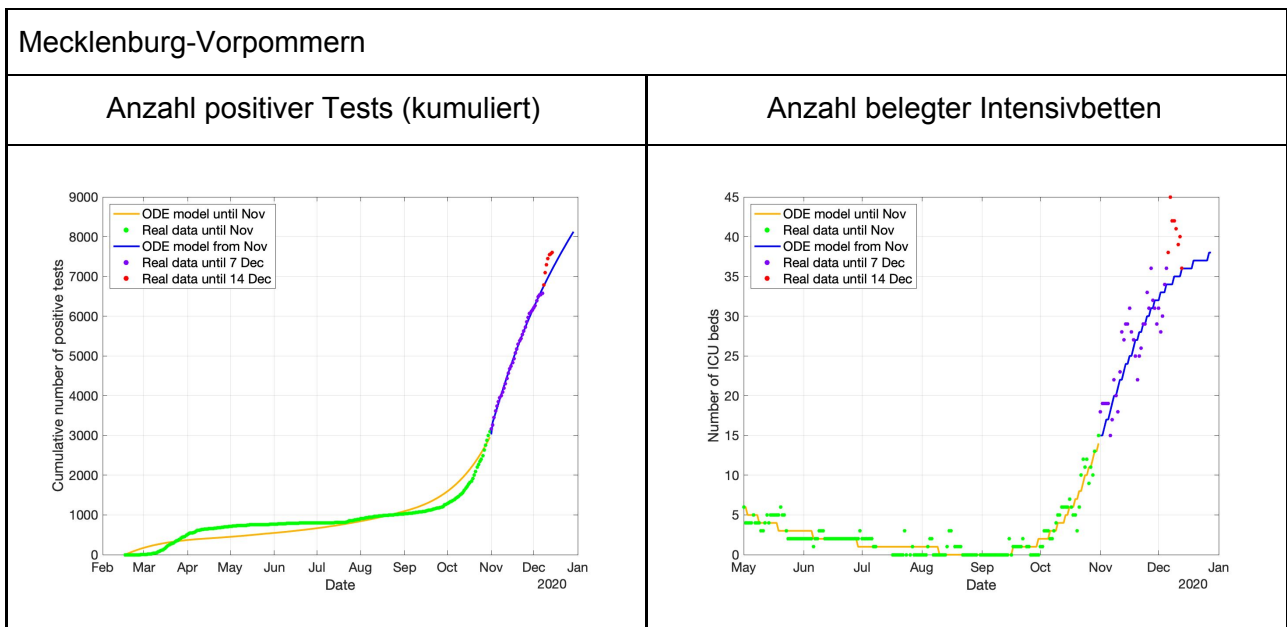


Figure 15: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Mecklenburg-Vorpommern**

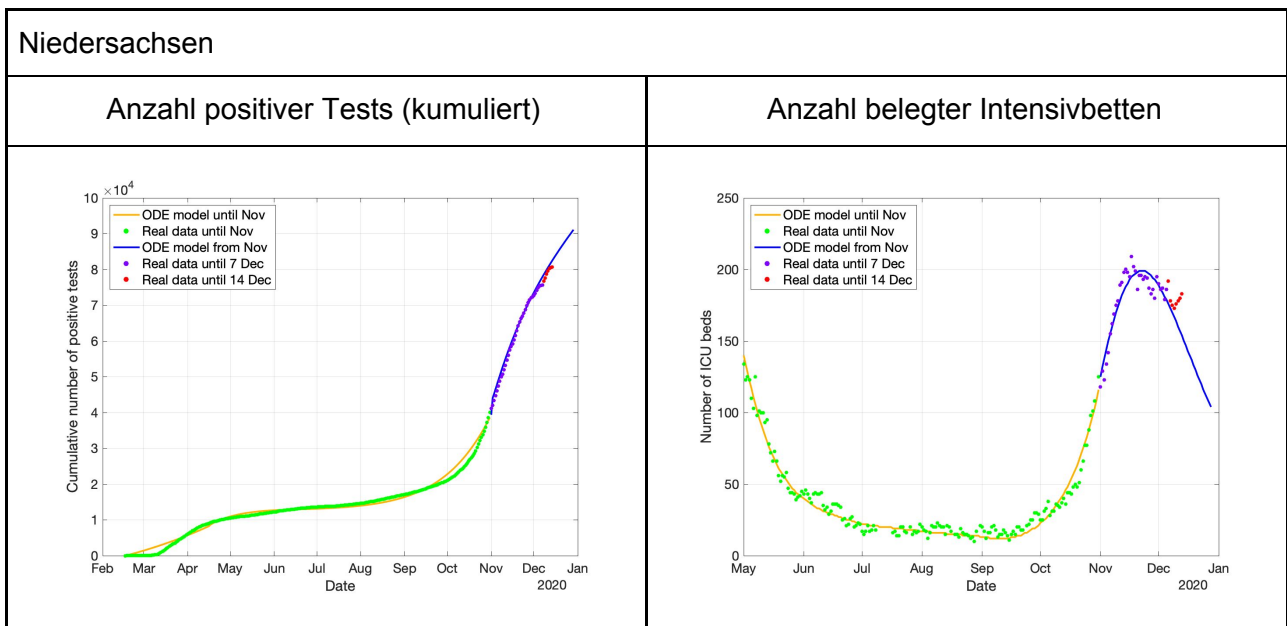


Figure 16: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Niedersachsen**

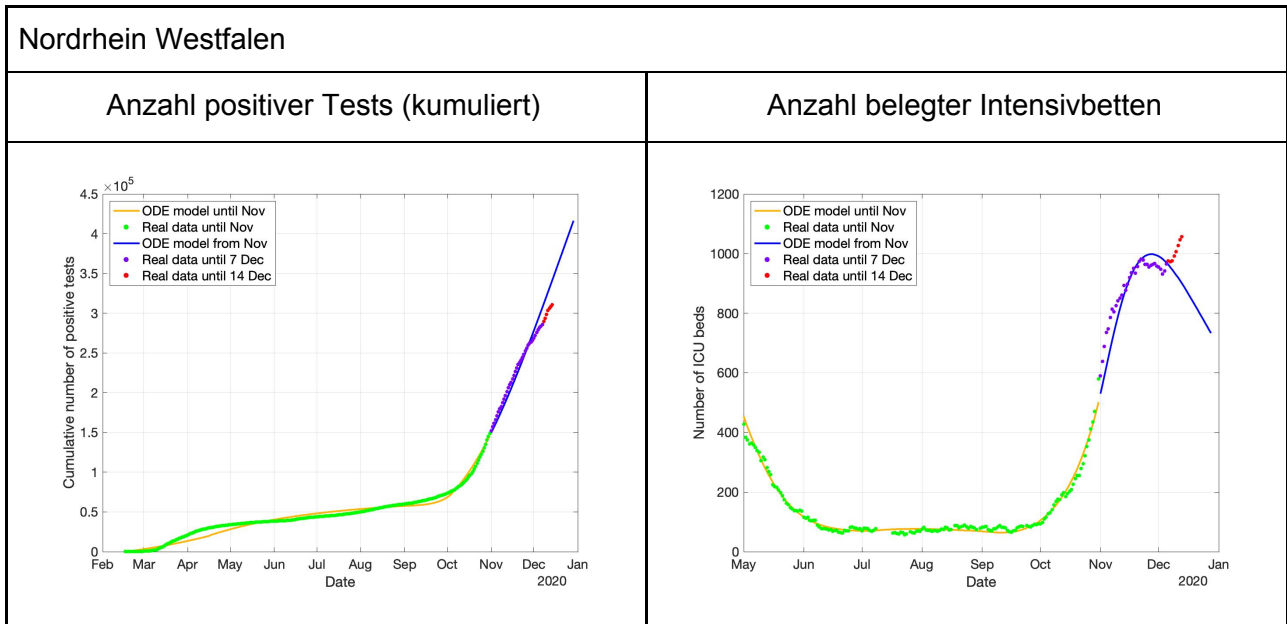


Figure 17: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Nordrhein-Westfalen**

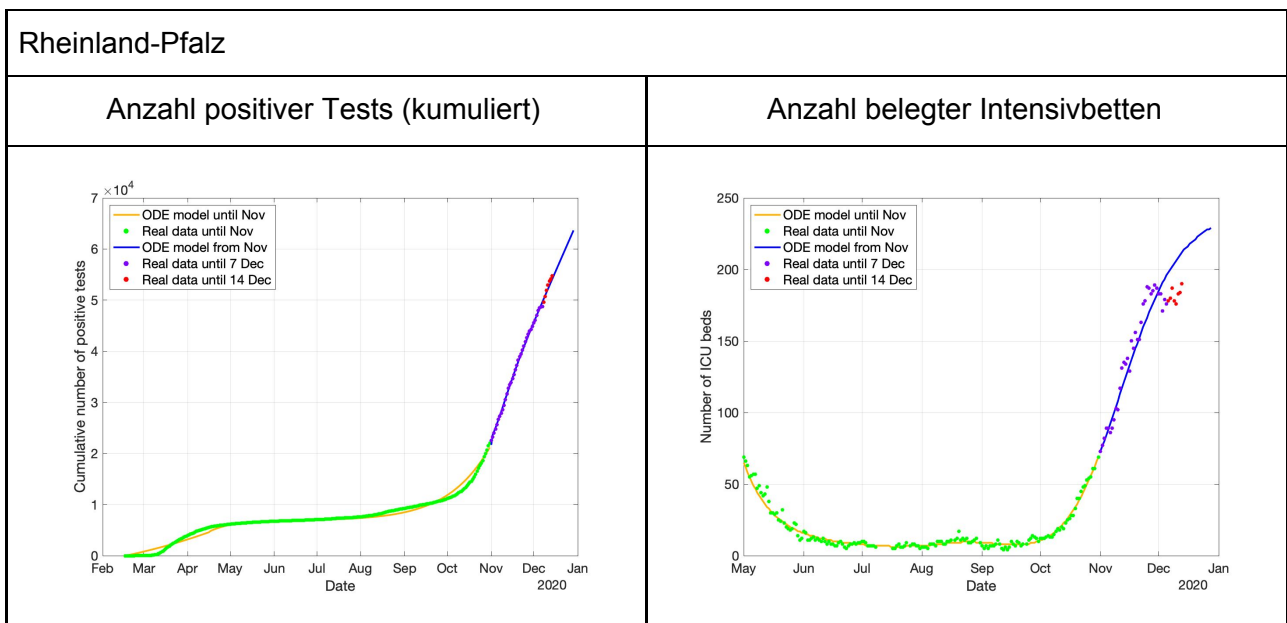


Figure 18: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Rheinland-Pfalz**

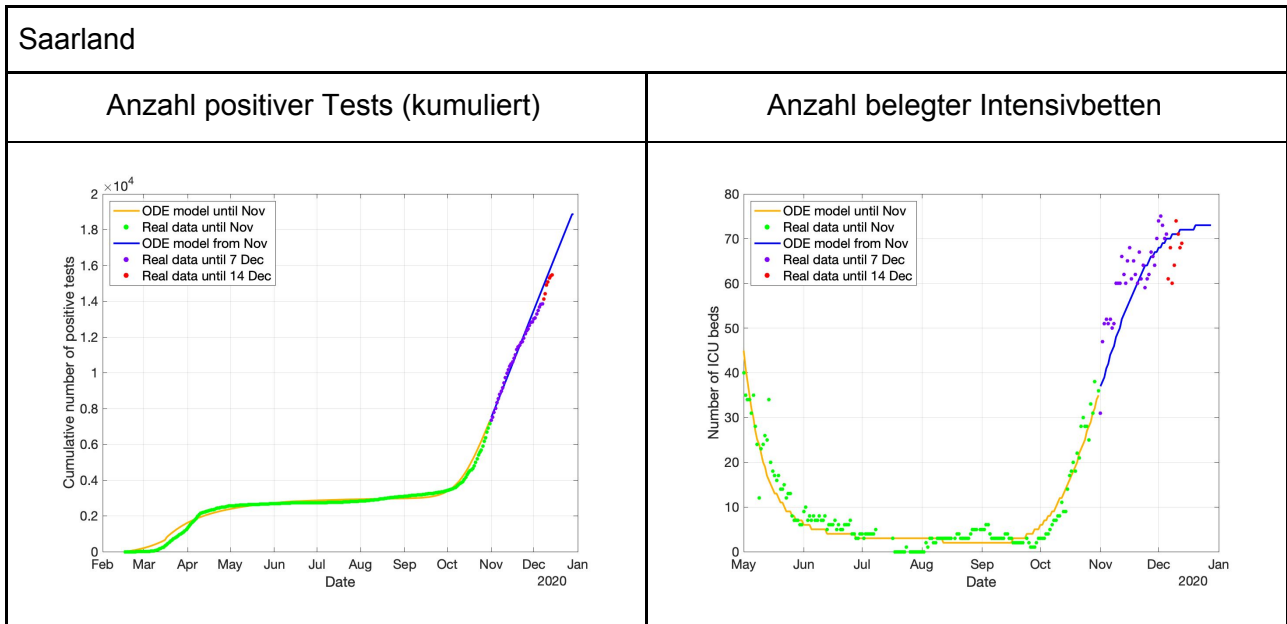


Figure 19: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für das **Saarland**

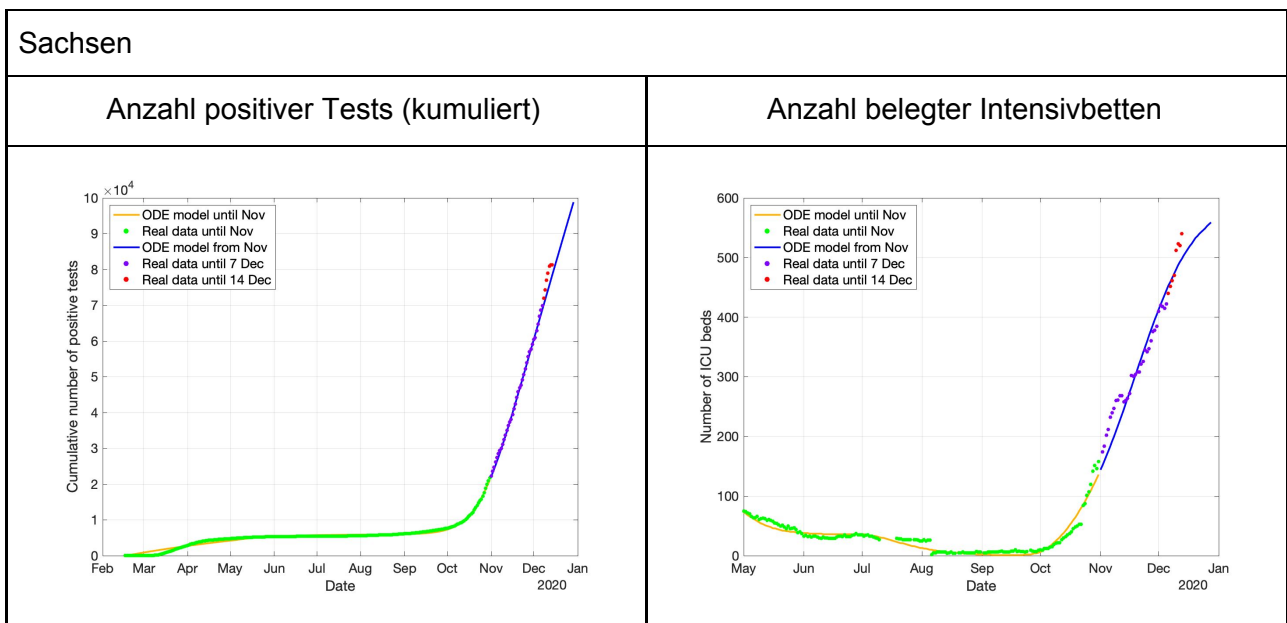


Figure 20: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Sachsen**

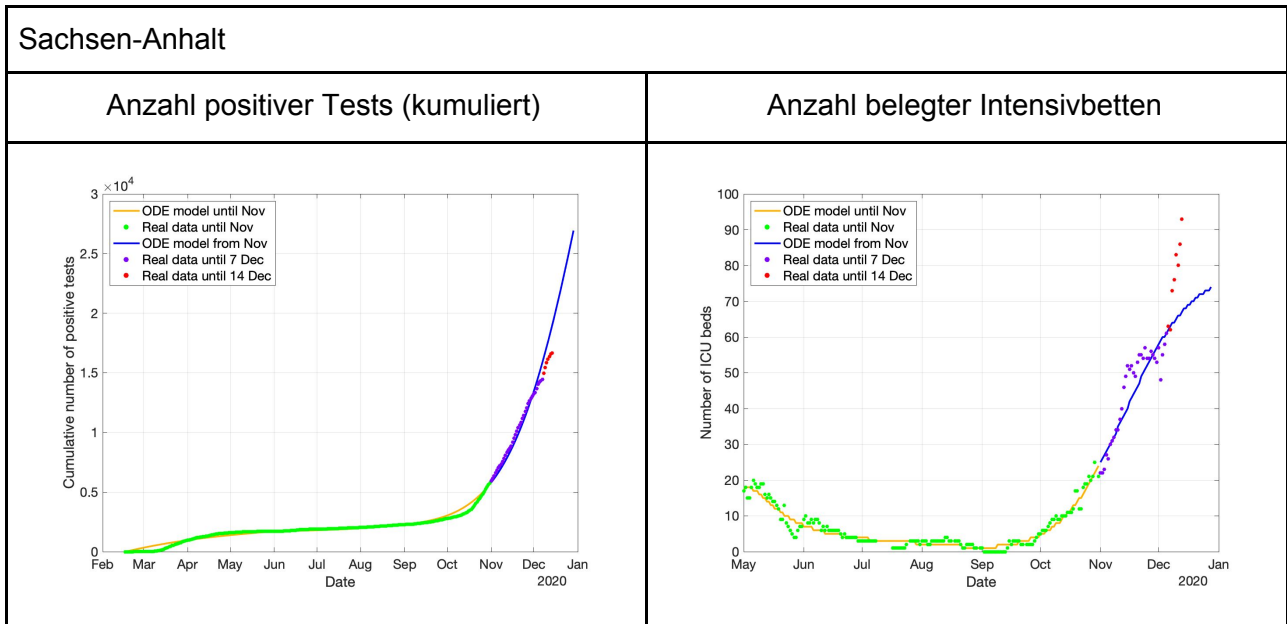


Figure 21: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Sachsen-Anhalt**

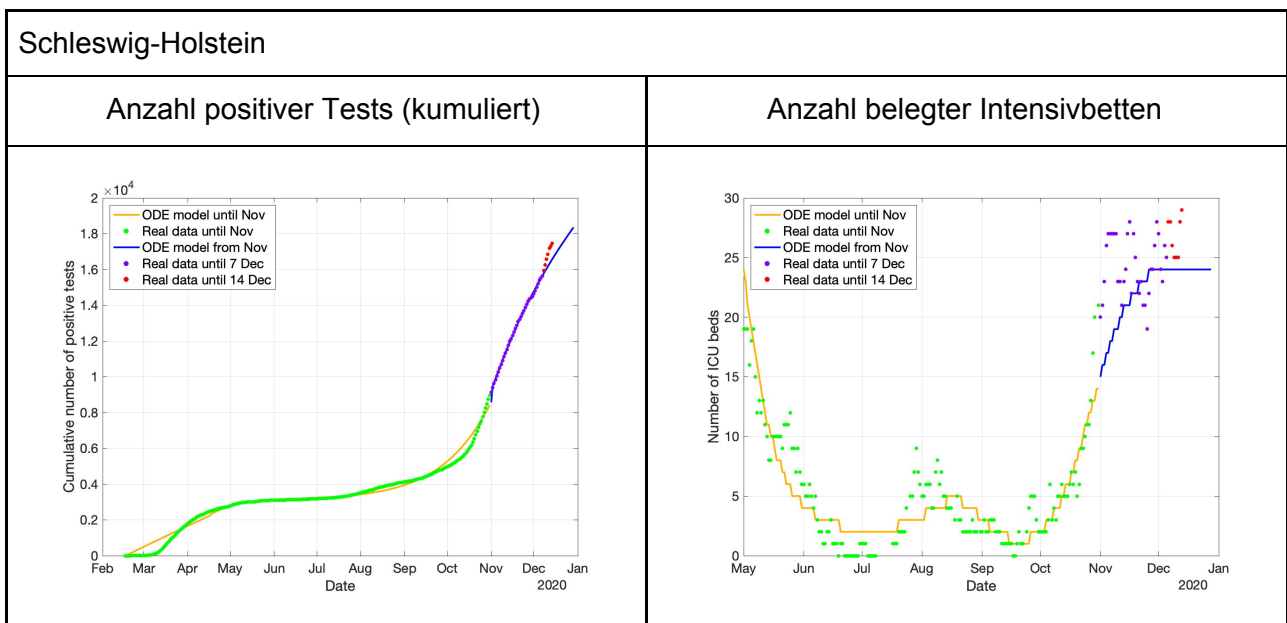


Figure 22: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für **Schleswig-Holstein**

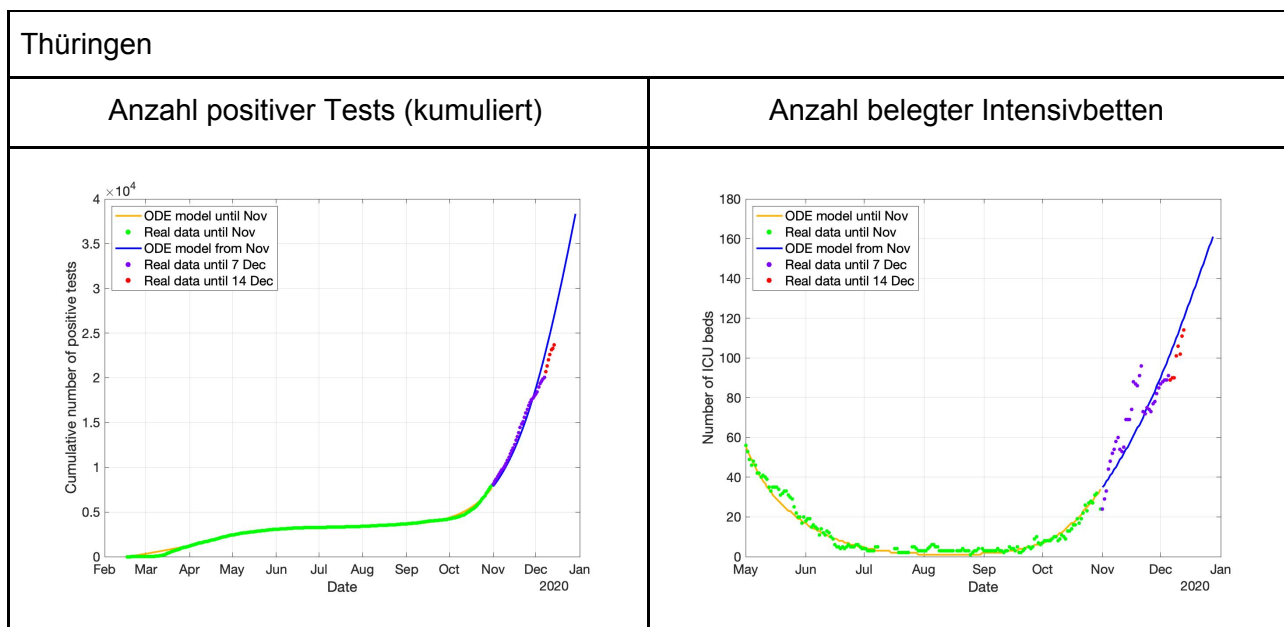


Figure 23: ODE-Fit der kumulierten Anzahl positiver Tests und der Anzahl belegter Intensivbetten für Thüringen

Quellen

- Dattner, Itai, Yair Goldberg, Guy Katriel, Rami Yaari, Nurit Gal, Yoav Miron, Arnona Ziv, Yoram Hamo, and Amit Huppert. 2020. "The Role of Children in the Spread of COVID-19: Using Household Data from Bnei Brak, Israel, to Estimate the Relative Susceptibility and Infectivity of Children." *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.20121145>.
- Davies, Nicholas G., Petra Klepac, Yang Liu, Kiesha Prem, Mark Jit, CMMID COVID-19 working group, and Rosalind M. Eggo. 2020. "Age-Dependent Effects in the Transmission and Control of COVID-19 Epidemics." *Nature Medicine* 26 (8): 1205–11.
- Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert, Christian Rakow, Hanna Wulkow, Tim Conrad, Kai Nagel, and Christof Schütte. 2020. "MODUS-COVID Bericht Vom 04.12.2020." <https://doi.org/10.14279/depositononce-10988>.
- Robert Koch-Institut. 2020. "COVID-19-Dashboard." 2020. www.corona.rki.de.
- Senozon. 2020. "The Senozon Mobility Model." The Senozon Mobility Model. 2020. <https://senozon.com/en/model/>.
- Wulkow, Hanna, Tim Conrad, Natasa Djurdjevac Conrad, Sebastian Alexander Mueller, Kai Nagel, and Christof Schuette. 2020. "Prediction of Covid-19 Spreading and Optimal Coordination of Counter-Measures: From Microscopic to Macroscopic Models to Pareto Fronts." *medRxiv*, December, 2020.12.01.20241885.