

# Simulationen zu den mittelfristigen Entwicklungen der COVID-19 Epidemie und der EXIT-Strategie in Luxembourg

**Atte Aalto, Laurent Mombaerts, Laurent Heirendt, Christophe Trefois, Paul Wilmes, Jorge Goncalves, Alexander Skupin**

Luxembourg Centre for Systems Biomedicine (LCSB), University of Luxembourg

2020/05/15

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Modelbeschreibung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Infektionsmodell .....	2
1.2 Model des Krankheitsverlaufs .....	3
1.3 Model Versionen .....	4
<b>2. Berechnung der effektiven sozialen Interaktionsverbindungen</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Aktuelle Simulationen der Exit-Szenarien</b> .....	<b>6</b>
3.1 Aktuelle Exit-Szenarien .....	8
<b>Danksagung</b> .....	<b>15</b>
<b>Referenzen</b> .....	<b>15</b>

---

### Disclaimer:

Dieser Report basiert auf Modellierungen der Covid-19 Epidemie in Luxembourg. Die verwendeten Modelle basieren auf Abschätzungen aus der angegebenen Literatur und aus den momentan (15.05.2020) zugänglichen Daten aus Luxembourg. Insofern sind die vorgestellten Ergebnisse im Rahmen der angegebenen Annahmen und momentanen Datenlage zu interpretieren. Die weitere Entwicklung der Epidemie und der entsprechenden Daten sowie neue wissenschaftlich Erkenntnisse können zu zukünftigen Modelanpassungen führen. Zu diesem Zweck werden die aktuellen Entwicklungen weiter beobachtet und mit den gemachten Annahmen kontinuierlich abgeglichen.

Dieses Dokument gibt einen Überblick über den etablierten Modellierungsansatz, der dazu verwendet wird, um detailliertere Vorhersagen zum Verlauf der COVID-19 Epidemie in Luxemburg zu treffen und mögliche Exit-Strategien zu evaluieren. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Stressoren im Gesundheitssystem gelegt, insbesondere die Kapazität der Intensivstationsbetten wird als ein essentiell limitierender Faktor einbezogen.

## 1. Modelbeschreibung

Das COVID-19 Model besteht aus 2 Hauptkomponenten (Abbildung 1):

- einem Netzwerk-basierten epidemiologischen Infektionsmodell (*epidemic model*) und
- einem Model zum Krankheitsverlaufs (*disease model*),

wobei individuelle Personen als „stochastische Agenten“ unter Berücksichtigung ihrer Gruppenzugehörigkeit im Hinblick auf Alter, Beruf, potentielle Komorbiditäten und anderen Faktoren parametrisiert werden können.

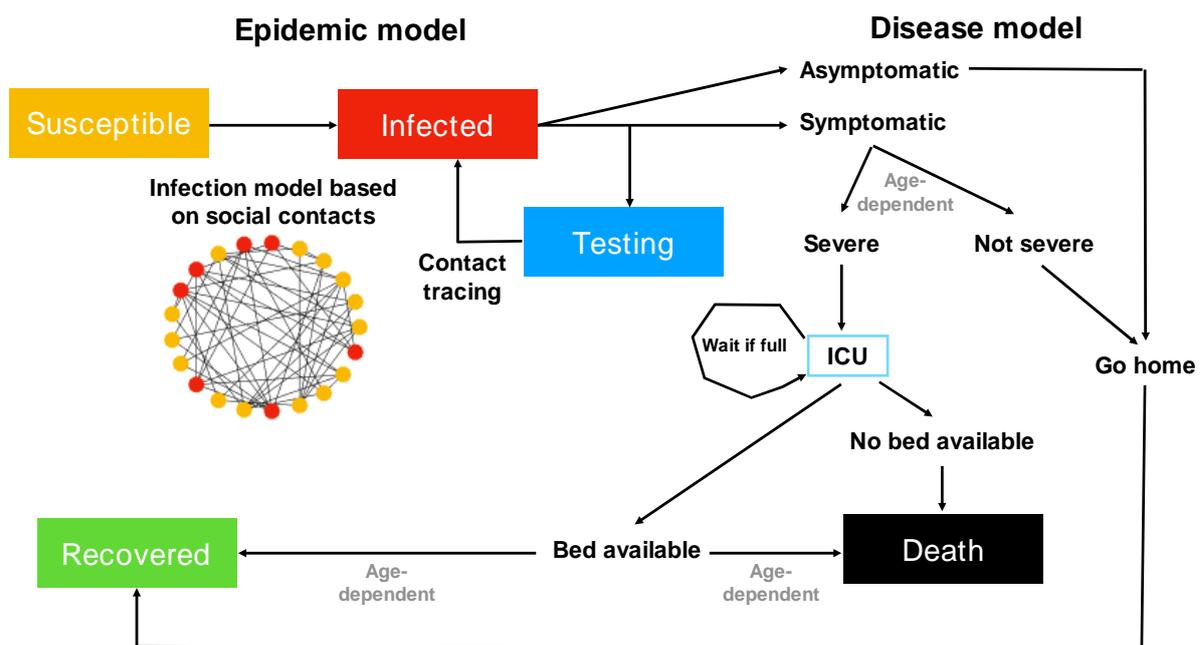


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Modells, das aus einem netzwerkbasierendem Infektionsmodell (*Epidemic model*) und einem Model zum Krankheitsverlauf (*Disease model*) besteht.

Mit diesem Ansatz stellt das Model eine Erweiterung klassischer epidemiologischer Modelle dar, indem es sowohl einen COVID-19 spezifischen Krankheitsverlauf berücksichtigt als auch eine individualisierte Implementierung der Sektoren- und Sozialisierung-spezifischen Interaktionen erlaubt.

## 1.1 Infektionsmodell

Klassische epidemiologische Infektionsmodelle betrachten typischerweise die gesamte Population und modellieren den Anteil der Population, der in verschiedene Gesundheits-/Krankheitszustände übergeht:

- von einem Zustand, in dem die Person für den Virus anfällig ist (*S: Susceptible*),
- zu einem Zustand, in dem die Person dem Virus ausgesetzt ist (*E: Exposed*),
- zu einem Zustand, in dem die Person infiziert ist und andere anstecken kann (*I: Infectious*), und
- schließlich zu einem Zustand, in dem die Person entweder geheilt oder gestorben ist (*R: Removed* oder *Recovered*).

Diese *SEIR* Modelle, die mathematisch durch Differentialgleichungen beschrieben werden, erlauben eine erste Analyse, wie sich eine Epidemie in Abhängigkeit von Infektions-, Expositions- und Erholungsraten entwickeln wird.

Während diese *SEIR* Analysen erste wichtige Einschätzungen der Epidemie erlauben und der Effekt von globalen Maßnahmen zur Eindämmung der Epidemie abgeschätzt werden kann, ist dieser globale Ansatz nur beschränkt anwendbar, um z.B. sektorenspezifische Maßnahmen zu evaluieren oder Eigenschaften von speziellen Untergruppen, z.B. im Sinne von sozialen Interaktionen oder Infektionsrisiken, mit einzubeziehen.

Um möglichst spezifische Projektionen von verschiedenen Szenarien unter der Berücksichtigung der luxemburgischen Verhältnisse bereitzustellen, wurde die klassische *SEIR* Modellierung mit einem Netzwerkansatz für *social contacts* erweitert (Abbildung 1). Anstatt einer globalen Population, werden Individuen als *stochastische Agenten* implementiert, die wiederum in Abhängigkeit von demographischen Daten in Bezug auf Untergruppenzugehörigkeit parametrisiert und deren potentielle Interaktionen durch Netzwerke berücksichtigt werden. Insbesondere erlaubt dieser Ansatz eine Alters- und Sozialisierung-abhängige Parametrisierung und eine explizite Implementierung von Interaktionsnetzwerken, die z.B. aus den IGSS-Daten abgeschätzt werden kann.

Mit diesem individuellen Ansatz ist die Modellierung einerseits in der Lage Vorhersagen für spezifische Gruppen der Bevölkerung zu treffen und andererseits den beobachteten Fluktuationen Rechnung zu tragen. Ein ähnlicher Ansatz wird auch von anderen Modellierungsgruppen verfolgt, wie der Gruppe von Prof. Nikolas Popper (Technische Universität Wien), die unter anderem die österreichische Regierung berät, oder der Gruppe von Prof. Thorsten Lehr (Universität des Saarlandes), die Projektionen für die deutschen Bundesländer bereitstellt, und mit denen wir in wissenschaftlichen Austausch stehen.

Das **Netzwerk erweiterte Infektionsmodell berücksichtigt also explizit**

- **individualisierte Infektionsraten** in Abhängigkeit von Alter, Sektoren und Sozialisierung, sowie
- **Interaktionsnetzwerke** u.a. basierend auf Anstellungsverhältnissen, Schul- und Familienzugehörigkeiten.

Diese Größen werden dann dazu verwendet **spezifische Interaktionsnetzwerke zu generieren**, auf denen dann die epidemische Dynamik simuliert wird. Diese generierten Netzwerke unterscheiden sich in ihrer Granularität in den verschiedenen Versionen des Modells (siehe auch Abschnitt 1.3 unten). In

Version 1 des Modells wurden hauptsächlich Literaturwerte auf die luxemburgische Bevölkerung übertragen, um den Effekt des Lockdowns zu simulieren. In Version 2 werden Sektoren-spezifische Annahmen wie Anzahl der Arbeitnehmer, Infektionsrisiko und Altersstruktur in ein effektives Interaktionsnetzwerk übersetzt, was eine detaillierte Analyse von verschiedenen Exitstrategien erlaubt. Version 3 des Modells berücksichtigt die verschiedenen sozialen Netzwerke (Haushalt, Arbeitgeber, Schulen, öffentliche Einrichtungen, Restaurants, etc.) und deren Interaktion explizit, so dass hier noch detaillierte Analysen basierend auf IGSS-Daten möglich sind.

## 1.2 Model des Krankheitsverlaufs

Neben der Erweiterung des Infektionsmodells durch konkrete Interaktionsnetzwerke und individualisierte Infektionsraten, beinhaltet der Modellierungsansatz auch ein COVID-19 spezifisches Modul zum Krankheitsverlauf, mit dem insbesondere die Entwicklungen in den Krankenhäusern prognostiziert werden kann (Abbildung 1).

In diesem Model wird für jedes Individuum (*stochastischen Agenten*), das in dem Infektionsmodel den *Infected* Zustand erreicht hat, eine u.a. altersabhängige Wahrscheinlichkeit berechnet einen symptomatischen oder asymptomatischen Krankheitszustand einzunehmen (Abbildung 1). Während asymptomatische Fälle nach einer gewissen *Delay* Zeit von mindestens 10 Tagen und einer additiven zufälligen Zeit (siehe Abbildung 2) in den genesenen (*Recovered*) Zustand übergeht, wird für symptomatische Individuen eine weitere, umstandsabhängige Wahrscheinlichkeit berechnet sich in einen kritischen bzw. unkritischen Fall zu entwickeln. Unkritische Fälle erholen sich zu Hause (wiederum mit einer fluktuierenden *Delay*-Zeit von mindesten 10 Tagen) bevor sie ebenfalls den genesenen (*Recovered*) Zustand erreichen. Kritische Fälle werden in Abhängigkeit der Kapazität auf die Intensivstation (ICU) verlegt, wobei wieder eine individualisierte Wahrscheinlichkeit den Übergang zu einem Todesfall oder dem genesenen Zustand bestimmt.

# Summary of Parameters for the Disease model

## DELAYS

- Delay in tracing symptomatic contacts (3 days det.)
- Incubation time (Stoch. – min: 2,  $p = 0.5 * dt$ )
- Symptoms onset (Stoch. – min: 2,  $p = 0.5 * dt$ )
- Recovery time at home (Stoch. – min: 10,  $p = 0.25 * dt$ )
- Length of stay in ICU (Stoch. – min: 2,  $p = 0.072 * dt$ )
- Survival time in ICU (Stoch. – min: 1.5,  $p = 0.4 * dt$ )

Stochastic delays are of the form

$$\text{Delay} = \text{min} + v$$

where  $v$  is from geometric distribution with parameter  $p$ .

$$\text{Then } E(\text{Delay}) = \text{min} + (1/p - 1) * dt$$

## Age-dependent parameters

- Hospitalisation Percentage
- Symptoms Severity Percentage
- Survival from ICU Percentage

## Infection-Related

- Beta infection per sector / school / family
- Viral risk for each company sector
- Frontaliers specific infection rate
- Symptomatic percentage

Abbildung 2: Übersicht der stochastischen Parameter des COVID-19 Modells.

Insbesondere ist die Genesung von kritischen Patienten, neben dem Alter und potentiellen Komorbiditäten, auch von der Verfügbarkeit eines Intensivstationsbettes (ICU) abhängig. Sobald die ICU Kapazität voll belegt ist, führt dies zu einem signifikanten Anstieg der Todeszahlen und insofern ist die Obergrenze von 90 ICU Betten ein kritischer Parameter.

Neben dem detaillierten Model des Krankheitsverlaufs, beinhaltet die Modellierung auch ein Testing-Modul mit dem symptomatische Patienten getestet werden können und das auch aktives Contact-Tracing mit anschließender Isolation oder Quarantäne simulieren kann. In diesem Modul werden ebenfalls stochastische Parameter für die Effektivität und die benötigte Zeitspanne angenommen (Abbildung 2). Mit diesem Ansatz lassen sich auch für das aktive Contact-Tracing benötigte Testkapazitäten abschätzen.

Das entwickelte Model stellt somit eine essentielle Erweiterung von klassischen epidemiologischen Modellen dar und ist in der Lage detaillierte, auf Individuen basierte Informationen aus den Krankenhäusern, den Testlabors und der IGSS-Datenbank zu integrieren und diese für spezifische Projektionen auch von verschiedenen Exit-Strategien zu verwenden.

### 1.3 Model Versionen

Das Modell wird kontinuierlich weiterentwickelt, um eine detailliertere Datenintegration zu ermöglichen:

- **Version 1** (Ende März 2020) basiert auf einem allgemeinen Ansatz für netzwerkbasierete stochastische Agenten. Die Parameter wurden hauptsächlich der Literatur [1] entnommen, die auf epidemischen Daten aus Wuhan (China) basieren und an die luxemburgischen Daten der identifizierten Fälle und ICU-Anforderungen adaptiert.
- In der **Version 2.0** (Mitte April 2020) wurden aktuell verfügbare Daten aus Luxemburg zur Parametrisierung des Modells und zur Berechnung von sektorenspezifischen effektiven sozialer Interaktionsnetzwerke verwendet, welche detailliertere Simulationen der verschiedenen Exitszenarien ermöglichten. Die spezifischen sozialen Interaktionen, die sich aus den Interaktionen zwischen Mitarbeitern und Kunden sowie den verschiedenen Szenarien der Dinner-Partys ergeben, werden modelliert, indem die Interaktionen zu effektiven sozialen Interaktionsverbindungen aggregiert werden (Abschnitt II unten).
- Die **Version 2.1** (Anfang Mai 2020) wurde auf Grundlage der aktualisierten Daten neu parametrisiert. Diese schliesst Patienten aus der Region Grand Est explizit aus und berücksichtigt zudem Todesfälle außerhalb der Krankenhäuser.
- **Version 3** (geplant für Ende Mai 2020) basiert auf detaillierten Netzwerken, die aus IGSS-Daten abgeleitet wurden. Diese Version berücksichtigt explizit die sozialen Interaktionsnetzwerke, die sich aus Haushalten, dem Angestelltenverhältnissen, den Schulstufen, sowie allgemeinen sozialen Interaktionen und den sich daraus resultierende Interaktion zusammensetzen. Darüber hinaus integriert Version 3 die aus IGSS-Datensätzen verfügbaren detaillierten sektorenspezifischen Aktivitäten.

Die einzelnen Modell-Versionen werden in der hochmodernen Simulationsumgebung Matlab (Mathworks Inc.) implementiert. Reproduzierbarkeit und Nachhaltigkeit werden durch den R3-Ansatz (Responsible Reproducible Research) des LCSB gewährleistet.

## 2. Berechnung der effektiven sozialen Interaktionsverbindungen

Eine zentrale Maßnahme in der Eindämmungsstrategie von Covid-19 ist die Reduzierung von physischen Kontakten innerhalb der Bevölkerung, um das Infektionsrisiko zu verringern und die weitere Ausbreitung des Virus zu stoppen [2]. In dem Modell werden diese potentiell infektiösen Interaktionen durch das zugrundeliegende soziale Interaktionsnetzwerk berücksichtigt, das Interaktionen durch **effektive soziale Interaktionsverbindungen** beschreibt. Um diese effektiven sozialen Interaktionsverbindungen abzuschätzen, werden literaturbasierte Werte der sozialen Kontakte [3,4] in die entsprechende Netzwerkbeschreibung übersetzt, indem die Häufigkeit der physischen Kontakte an den verschiedenen Orten, die Häufigkeit der Besuche und die Dauer an den besuchten Orten sowie die Anzahl anderer Personen, die an diesen Orten getroffen werden, berücksichtigt werden (Tabellen 2 und 3 in [4]) und mit aktivitätsabhängigen Infektionsrisiken skaliert werden.

### **Soziale Basis-Interaktionen:**

Zur Abschätzung der sozialen Mindestinteraktionen wurden die Daten während der Lockdown-Periode mithilfe des Modells abgeschätzt und ergaben einen Durchschnitt von **9,8 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** über den infektiösen Zeitraum von 3 Tagen pro Person einschließlich derjenigen innerhalb eines Haushalts. Da in luxemburgischen Familien durchschnittlich 3,3 Personen leben, bedeutet dies etwa 6 Kontakte außerhalb der Familie pro Person über den Zeitraum von drei Tagen. Dies steht im Vergleich zu **29,4 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen während des "normalen Lebens" vor dem Lockdown**, was 16 Kontakten pro Tag entspricht (48 Kontakte während des Infektionszeitraums von 3 Tagen) und mit tätigkeitsspezifischen Infektionsrisiken skaliert wird.

### **Öffentliche Verkehrsmittel:**

Für den öffentlichen Verkehr wird die effektive soziale Interaktion mit der literaturbasierten Annahme abgeschätzt, dass 16,3% der Bevölkerung den öffentlichen Verkehr für 1 Std./Tag nutzen, wo eine Person in physischem Kontakt mit 8,3% von 40 anderen Fahrgästen steht [4]. Dies entspricht **0,73 zusätzlichen effektiven sozialen Interaktionsverbindungen**.

### **Einkaufen:**

Der Effekt erhöhter sozialer Interaktionen aufgrund der Öffnung von Geschäften basiert auf der Annahme, dass 24,1% der Bevölkerung 0,8h/Tag in einem Geschäft verbringen, in dem eine Person zu 18% in physischem Kontakt mit 21,5 anderen Personen steht [4]. Daraus ergeben sich **1,06 zusätzliche effektive soziale Interaktionsverbindungen**.

### Dinner-Partys:

Der Effekt von wöchentlichen Dinner-Partys berücksichtigt, dass Kontakte eher eng sind und zu einer zusätzlichen Verbindung pro Person im sozialen Interaktionsnetzwerk führen, die durch die Haushaltszusammensetzung skaliert werden muss:

- a) Wenn **zwei Personen sechs Personen aus zwei verschiedenen Haushalten** (2+3+3) empfangen, ergeben sich 5,25 neue Verbindungen, die zur Berücksichtigung der Ansteckungszeit mit dem Faktor 2 skaliert und mit dem Bevölkerungsanteil multipliziert wird, von dem angenommen wird, dass er an solchen Ereignissen teilnimmt. Für einen 50%igen Anteil, wie er im alten Basisszenario berücksichtigt wurde, führt dies zu **1,31 zusätzlichen effektiven sozialen Interaktionsverbindungen**.
- b) Für Dinner-Partys mit **sechs Gästen aus drei Haushalten** (2+2+2+2) müssen **zusätzlich 6 weitere effektive soziale Interaktionsverbindungen** berücksichtigt werden.
- c) Bei Dinner-Partys mit **sechs Gästen aus vier Haushalten** (1+1+2+2+2) ergeben sich **6,25 neue Verbindungen pro Person**.

Für die **soziale Distanzierung** wird angenommen, dass das Infektionsrisiko im Vergleich zum Risiko ohne Distanzierung auf 1/3 in geschlossenen Räumen und auf 1/10 im Freien reduziert wird. Dies wird durch Skalierung der durchschnittlichen Anzahl der hinzugefügten Verbindungen berücksichtigt. Für gemischte Zusammensetzungen werden die effektiven sozialen Interaktionsverbindungen im Abschnitt 3.1 der aktuellen Exitszenarien weiter unten näher spezifiziert.

### Versammlungen im Freien:

Bei Zusammenkünften im Freien mit 20 Personen ergeben sich 19 Verbindungen pro Person (verschiedene Haushalte vorausgesetzt). Wenn «social distancing» befolgt wird, wird ein Infektionsrisiko in Höhe von 1/10 des Risikos bei einer Dinner-Party ohne Distanzierung angenommen.

## 3. Aktuelle Simulationen der Exit-Szenarien

In diesem Abschnitt werden Simulationen zur **Epidemiedynamiken** mit der **Modellversion 2.1** präsentiert, welche die **sozialen Interaktionsnetzwerken und Krankheitsdynamiken berücksichtigen** (siehe auch Abschnitt 1.3 oben zu Modellversionen). Insbesondere spezifiziert das Modell soziale Kontakte in arbeitsbezogene und andere soziale Kontakte. Arbeitsbezogene Kontakte sind sektorenspezifisch und entweder aktiv oder inaktiv, je nachdem, ob dieser bestimmte Sektor offen, teilweise offen oder geschlossen ist.

Der wesentliche Parameter in diesen Simulationen sind die **effektiven sozialen Interaktionsverbindungen**, die die durchschnittlichen Interaktionen einer Person beschreiben und die eine wesentliche Eigenschaft für die Ausbreitung des Virus innerhalb des Netzwerks sind. Daher werden soziale Kontakte, die durch Besuche von Geschäften, Dienstleistungen mit Terminvereinbarung (Friseur, Schönheitssalons, usw.) und öffentlichen Verkehrsmitteln sowie durch Abendessen und Zusammenkünfte im Freien entstehen, modelliert, indem die durchschnittliche

Konnektivität des zugrunde liegenden sozialen Netzwerks erhöht wird. Für die folgenden Simulationen werden die **verschiedenen Annahmen in diese effektiven sozialen Interaktionen** (siehe Abschnitt II oben) implementiert und für jedes Szenario angegeben.

Darüber hinaus schlossen wir in den hier vorgestellten aktualisierten Simulationen mit Modellversion 2.1 Patienten aus der Grand Est Region aus und berücksichtigten die Tatsache, dass etwa **1/3 der Todesfälle außerhalb von Krankenhäusern auftraten**. Diese Neuparametrisierung hat vor allem die Parameter des Krankheitsmoduls leicht verändert, wobei die altersabhängige Wahrscheinlichkeit, schwere Symptome zu entwickeln, angepasst wurde. Abgesehen von diesen Modifikationen hat sich das Gesamtbild nicht wesentlich verändert.

Für das neue Basisszenario (A und B unten) haben wir speziell die effektive soziale Interaktion für die derzeit beschlossene Exit-Strategie berechnet, wobei wir davon ausgehen, dass

- 75% der Personen, die an einem privaten Abendessen (Dinner-Party) teilnehmen, keine soziale Distanzierung respektieren, während 25% die soziale Distanzierung oder das Tragen von Masken respektieren,
- durchschnittlich 100.000 Personen einmal pro Woche zu einer Dinner-Party eingeladen werden, wobei
  - o 60% der Gäste aus 2 Haushalten kommen
  - o 20% der Gäste aus 3 Haushalten kommen
  - o 20% der Gäste aus 1 Haushalt kommen
- sich im Durchschnitt 25% der Bevölkerung einmal pro Woche mit 20 anderen Personen versammeln.

Diese Annahmen gehen in die Berechnung der effektiven sozialen Interaktionsverbindungen ein und führten **am 11. Mai zu zusätzlichen 0,74 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen**, wenn die soziale Distanzierung während der Versammlung von 20 Personen respektiert wird, und zu 2,88 zusätzlichen effektiven sozialen Interaktionsverbindungen, wenn die soziale Distanzierung während der Versammlung von 20 Personen nicht respektiert wird.

### 3.1 Aktuelle Exit-Szenarien

Das aktuelle Basisszenario schließt Patienten aus der Region Grand Est aus und berücksichtigt soziale Interaktionen, die sich wie folgt zusammensetzen:

- Soziale Basis-Interaktionen (Haushalt und wesentliche Interaktionen während der Abriegelung): 9,8
- Öffnung des Bausektors und Teile des Einzelhandels (63.000 Beschäftigte ab 20. April): 0,36
- Öffnung der Oberstufen der Gymnasien (6.000 Schüler und 40% der Lehrer ab 4. Mai): 0,15
- Öffnung der Geschäfte (20.000 Personen) und RVD (5.000 Personen) (ab 11. Mai): 1,06
- Öffnung der Sekundarschulen (ab 11. Mai): 0,39
- Damit verbundene Aktivitäten im öffentlichen Verkehr: 0,73
- Öffnung der Grundschule (25. Mai): 0,22
- Dinner-Partys, welche einmal pro Woche stattfinden, wobei wir hier davon ausgehen:
  - dass 75% der Menschen, die an einem privaten Abendessen teilnehmen, keine soziale Distanzierung respektieren und 25% die soziale Distanzierung oder das Tragen von Masken respektieren,
  - dass im Durchschnitt 100.000 Personen einmal pro Woche zu einer Dinnerparty eingeladen werden
  - 60% der Gäste aus 2 Haushalten kommen
  - 20% der Gäste aus 3 Haushalten kommen
  - 20% der Gäste aus 1 Haushalt kommen

Diese Annahmen führen zu 0,5 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen für Dinner-Partys.

- Öffentliche Versammlung von 20 Personen im Freien, wobei wir davon ausgehen, dass entweder
  - Soziale Distanzierung respektiert wird, was 0,24 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen am 11. Mai entspricht (Szenario A unten) oder
  - Soziale Distanzierung nicht respektiert wird, was 2,38 zusätzlichen effektiven sozialen Interaktionsverbindungen am 11. Mai entspricht (Szenario B unten).

Diese Annahmen spiegeln eine **23%ige Zunahme des normalen sozialen Lebens** zusätzlich zu den Lockdown-Aktivitäten wider, falls innerhalb der Versammlungen von 20 Personen eine effektive soziale Distanzierung eingehalten wird, und eine **34%ige Zunahme, falls während der Versammlungen keine soziale Distanzierung eingehalten wird.**

**A. Dinner-Party mit 6 Gästen und Versammlungen von 20 Personen, welche die soziale Distanzierung einhalten (neues optimistisches Basisszenario)**

**Annahmen:**

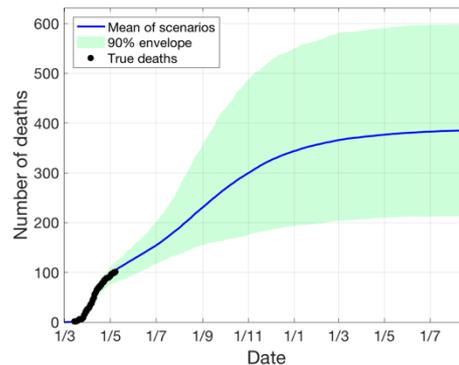
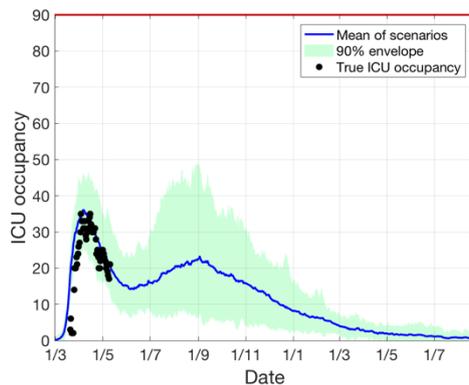
**1. Dinner-Party mit 6 Gästen:**

- a. mit der oben angegebenen Zusammensetzung der Dinner-Party
- b. mit der oben genannten Annahme der Respektierung sozialer Distanzierung.

**2. Versammlung von 20 Personen im Freien:**

- a. alle aus verschiedenen Haushalten;
- b. die soziale Distanzierung einhalten und Masken tragen (was einer Wahrscheinlichkeit für eine Ansteckung von 1/10 entspricht, verglichen mit keiner sozialen Distanzierung. Der Hauptunterschied zu einer Dinner-Party besteht darin, dass diese im Freien stattfinden).

Diese Annahme führte zum zusätzlichen **0,74 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** am 11. Mai und spiegelt eine **23%ige Zunahme des normalen sozialen Lebens** zu den Aktivitäten im Lockdown wieder.



**B. Dinner-Party mit 6 Gästen und 20 Personen, die sich ohne soziale Distanzierung versammeln (neues pessimistisches Basisszenario)**

**Annahmen:**

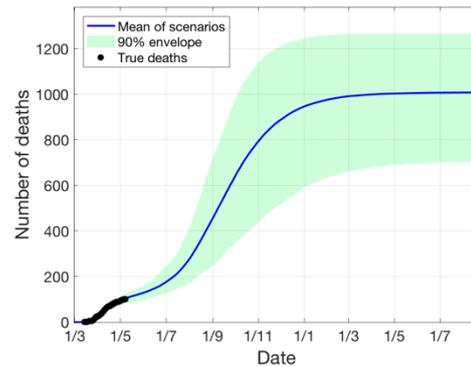
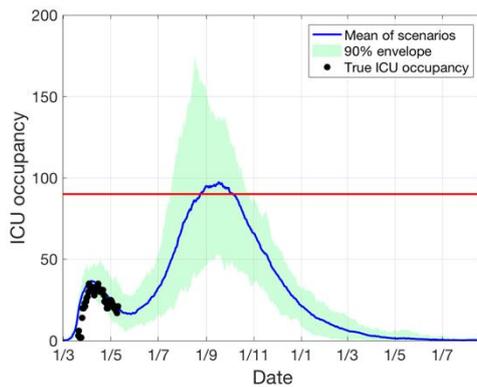
**1. Dinner-Party mit 6 Gästen:**

- a. mit der oben angegebenen Zusammensetzung der Dinner-Party
- b. mit der oben genannten Annahme des Einhaltens sozialer Distanzierung.

**2. Versammlung von 20 Personen im Freien:**

- a. alle aus verschiedenen Haushalten;
- b. **ohne Beachtung der sozialen Distanzierung.**

Diese Annahmen führen zu zusätzlichen **2,88 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** am 11. Mai und spiegeln einen Anstieg von **34% des normalen sozialen Lebens** zu den Aktivitäten im Lockdown wider.



**C. Wie A, aber mit einer 70%igen Eröffnung der Restaurants, Tischen mit 4 Gästen und einer Wahrscheinlichkeit von 30% für «Cross-table-Infektionen»<sup>1</sup>.**

**Annahmen:**

**1. Dinner-Party mit 6 Gästen:**

- a. mit der oben angegebenen Zusammensetzung der Dinner-Party
- b. mit der oben genannten Annahme des Einhaltens der sozialen Distanzierung.

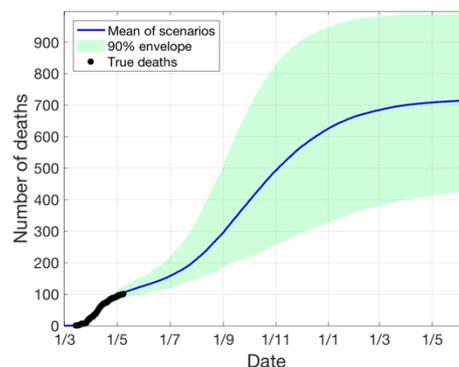
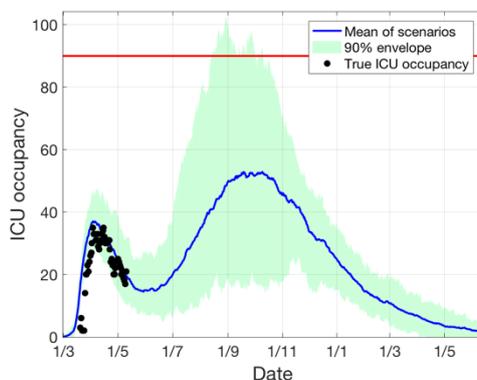
**2. Versammlung von 20 Personen im Freien:**

- a. alle aus verschiedenen Haushalten
- b. Einhalten der sozialen Distanzierung.

**3. Eröffnung eines Restaurants**

- a. 6,6% der Bevölkerung besuchen ein Restaurant pro Tag (41k Personen) [4]
- b. Ein Gast hat im Durchschnitt Kontakt mit 4 Mitarbeitern
- c. Ein Gast sitzt mit 3 anderen Gästen an einem Tisch
- d. Es befinden sich 10 zusätzliche Gäste im Restaurant, bei denen eine Wahrscheinlichkeit von 30% für eine «Cross-table-Infektion» besteht

Diese Annahmen führen zu zusätzlichen **0,68 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** am 11. Mai und spiegeln einen Anstieg von **27% des normalen sozialen Lebens** zu den Aktivitäten im Lockdown wider.



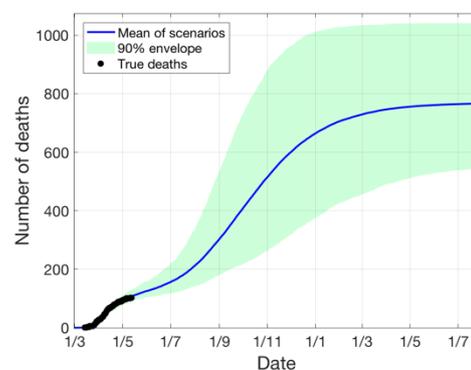
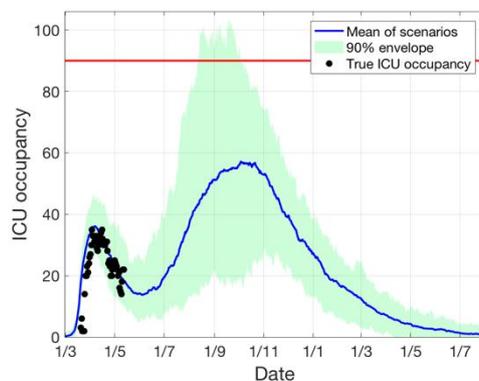
<sup>1</sup> Ausgehend von der Tatsache, dass die Menschen in Luxemburg während des Lockdowns die notwendigen Maßnahmen befolgten, folgte die Entwicklung der Pandemie einem Verlauf, der zu Beginn der Pandemie in Luxemburg als "optimistisch" bezeichnet wurde (siehe Version 3.0 des Policy Brief der Task Force Forschung Luxemburg COVID-19 vom 3. Mai 2020). In den folgenden Szenarien stützen wir uns daher auf das optimistische Basisszenario. Die zukünftige Entwicklung wird jedoch davon abhängen, wie gewissenhaft die luxemburgische Bevölkerung die erforderlichen physischen Distanzierungs-, Schutz- und Hygienemaßnahmen befolgen werden. Zusätzliche Maßnahmen wie physische Barrieren und effiziente Belüftung geschlossener Räume können das Risiko einer Übertragung des neuartigen Coronavirus über die Luft weiter verringern.

**D. Wie C, aber mit einem Tisch mit 6 Gästen und einer Wahrscheinlichkeit von 30% für «Cross-table-Infektionen».**

**Annahmen:**

- 1. Dinner-Party mit 6 Gästen:**
  - a. mit der oben angegebenen Zusammensetzung der Dinner-Party
  - b. mit der oben genannten Annahme des Einhaltens der sozialen Distanzierung.
  
- 2. Versammlung von 20 Personen im Freien:**
  - a. alle aus verschiedenen Haushalten
  - b. mit sozialer Distanzierung.
  
- 3. Eröffnung eines Restaurants**
  - a. 6,6% der Bevölkerung besuchen ein Restaurant pro Tag (41k Personen) [4]
  - b. ein Gast hat im Durchschnitt Kontakt mit 4 Mitarbeitern
  - c. ein Gast sitzt mit 5 anderen Gästen an einem Tisch
  - d. es befinden sich 10 zusätzliche Gäste im Restaurant, bei denen eine Wahrscheinlichkeit von 30% für eine «Cross-table-Infektion» besteht

Diese Annahmen führen zu zusätzlichen **0,82 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** am 11. Mai und spiegeln einen Anstieg von **29% des normalen sozialen Lebens** zu den Aktivitäten im Confinement wider.



**E. Wie D mit einem Tisch mit 6 Gästen und einer Wahrscheinlichkeit von 30% für eine «Cross-table-Infektion», aber mit Tests und Kontaktverfolgung**

**Annahmen:**

**1. Dinner-Party mit 6 Gästen:**

- a. mit der oben angegebenen Zusammensetzung der Dinner-Party
- b. mit der oben genannten Annahme des Einhaltens der sozialen Distanzierung.

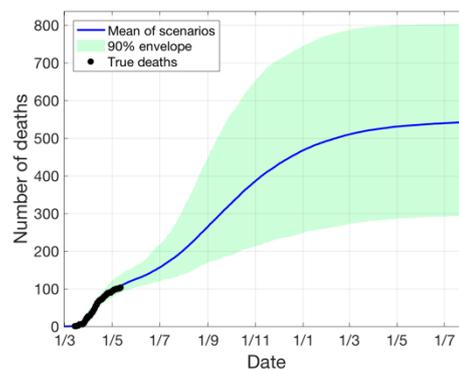
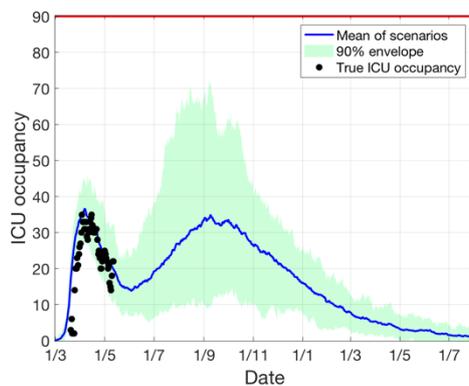
**2. Versammlung von 20 Personen im Freien:**

- a. alle aus verschiedenen Haushalten
- b. mit sozialer Distanzierung.

**3. Eröffnung eines Restaurants**

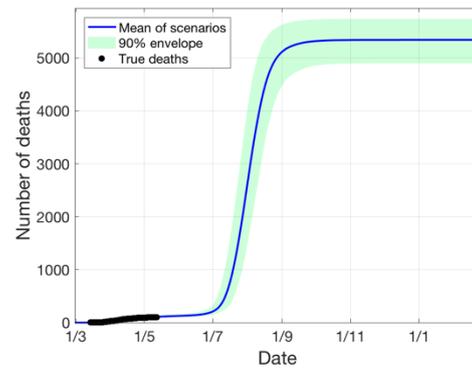
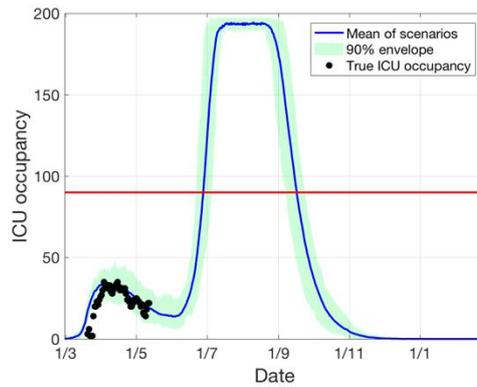
- a. 6,6% der Bevölkerung besuchen ein Restaurant pro Tag (41k Personen) [4]
- b. ein Gast hat im Durchschnitt Kontakt mit 4 Mitarbeiter
- c. ein Gast sitzt mit 5 anderen Gästen an einem Tisch
- d. es befinden sich 10 zusätzliche Gäste im Restaurant, bei denen eine Wahrscheinlichkeit von 30% für eine «Cross-table-Infektion» besteht

Diese Annahmen führen auch zu zusätzlichen **0,82 effektiven sozialen Interaktionsverbindungen** am 11. Mai und spiegeln einen Anstieg von **29% des normalen sozialen Lebens** zu den Aktivitäten im Lockdown wider, bei denen die Kontaktverfolgung die Amplitude der zweiten Welle reduziert.



## F. Globaler Exit am 1. Juni

Die globale Exit-Annahme führt zu einer entsprechenden Schätzung von **29,4 effektiven sozialen Interaktionsbeziehungen** und spiegelt somit 100% des sozialen Lebens wider.



## Danksagung

Diese Studie wurde durch die R3-Initiative des Luxembourg Centre for Systems Biomedicine und die HPC-Infrastruktur der Universität Luxemburg unterstützt.

## Referenzen

- [1] Ferguson, N. M., Laydon, D., Nedjati-Gilani, et al. "Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand". Imperial College, London. <https://spiral.imperial.ac.uk:8443/handle/10044/1/77482>, (2020)
- [2] Cornelia Adlhoch, Agoritsa Baka, Massimo Ciotti, et al. "Considerations relating to social distancing measures in response to COVID-19 – second update". ECDC. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/covid-19-social-distancing-measuresg-guide-second-update.pdf>, (2020)
- [3] J. Mossong, N. Hens, M. Jit et al. "Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases", PLoS Medicine 5(3):e74, (2008)
- [4] M. Strömgren, E. Holm, Ö. Dahlström et al. "Place-based social contact and mixing: a typology of generic meeting places of relevance for infectious disease transmission", Epidemiology & Infection 145:2582-2593, (2017)