

Informatica - Agent Based Modelling

Epidemiologie

Santos van der Wansem

19 november 2023

STS

Inhoudsopgave

Inleiding	2
Casus en onderzoeksvraag	2
Wat weet ik al van dit fenomeen?	2
Wat ga ik modelleren?	2
Wat wil ik te weten komen?	3
Onderzoeksvraag	3
Hypothese	3
Vooronderzoek	3
Weergave van de epidemie	3
Maatregelen en hun effecten	4
Formaliseren	5
Welke soorten agents zijn betrokken bij dit fenomeen?	5
In wat voor omgeving functioneren de agents?	5
Wat voor eigenschappen hebben de agents?	5
Wat voor omgevingsvariabelen zijn er?	5
Wat voor gedrag hebben de agents?	6
Wat voor gedrag hebben de agents onderling of met de omgeving?	7
Als je dit fenomeen in discrete tijdseenheden zou beschrijven, wat gebeurt er in elke tijdseenheid (d.w.z. bij elke tik van de klok) en in welke volgorde?	8
Omschrijving van een tik (elke 6 uur)	8
Setup procedure	9
Go procedure	10
Validatie	11
Microvalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de agents overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd? Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?	11
Macrovalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de het systeem als geheel in jouw model overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd. Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?	11
Experimenten	12
Analyse	16
Conclusie	17
Discussie	18
Reflectie	19
Planning	20
Logboek	21
Literatuurlijst	23

Inleiding

De studie van epidemieën is van groot belang omdat ze een grote impact kunnen hebben op ons leven. Door onderzoek te doen naar hoe epidemieën zoals influenza, maar ook de beruchte covid-19 epidemie gemeenschappen kunnen beïnvloeden, kunnen we te weten komen welke maatregelen echt helpen om een epidemie uit een gemeenschap te verhelpen. De manier waarop de overheid ingrijpt bij een epidemie, wordt bepaald door middel van een model dat zij creëren waarin zij het effect van verschillende maatregelen kunnen weergeven en daardoor het effect van deze maatregelen op de samenleving kunnen voorspellen.

Casus en onderzoeksvraag

Wat weet ik al van dit fenomeen?

Na drie jaren van de corona-epidemie te hebben meegemaakt ben ik al wat te weten gekomen over epidemieën en hoe deze ingeperkt kunnen worden. Een leus die vaak geroepen werd was “flatten the curve”, waarbij bedoeld werd dat het aantal besmettingen over een langere tijd verspreid moet worden om de druk op de zorg te verminderen. Dit kan gedaan worden op verschillende manieren, zoals het dragen van mondkapjes.

Wat ga ik modelleren?

Ik wil graag een model maken waarbij weergegeven wordt hoe we de zogenaamde leus “flatten the curve” ook echt bereikt kan worden, oftewel: een model waarbij je, door te spelen met verschillende variabelen en maatregelen, kan kijken wat het effect van die maatregelen is en hoe ze helpen om de verspreiding van de ziekte in te perken en een piek te voorkomen. Hierbij wil ik in ieder geval een maatregel als mondkapjes invoeren, maar waarschijnlijk ook aanpasbare variabelen zoals verspreidingskans van het virus. Ik wil in het model duidelijk met behulp van een grafiek aangeven hoeveel mensen er ziek zijn op een gegeven moment om zo te kunnen zien of er een sterke “curve” (piek) is. Het deel van een epidemie waar ik me op wil focussen in dit model is vooral op hoe de verspreiding van het ziekte beperkt kan worden, en dus niet op zaken als de ernstigheid van de ziekte (de mate waarin mensen last hebben van de ziekte) en het effect van de maatregelen op bijvoorbeeld de economie of het geluk van de mensen, aangezien deze geen sterk verband hebben met de mate van verspreiding van de ziekte. Dit model zal uiteindelijk gebruikt kunnen worden om veel verschillende soorten virussen te modelleren, omdat het model makkelijk generaliseerbaar zal zijn en er zal ook op voortgebouwd kunnen worden door meer maatregelen of omgevingsvariabelen toe te voegen. Dit model zal ook inzicht bieden voor ziektes die geen virus zijn, maar wel door contact worden verspreid, het zal dus in meerdere contexten toepasbaar zijn.



Wat wil ik te weten komen?

Met dit model wil ik te weten komen wat de relatie tussen bepaalde maatregelen en de mate van verspreiding van een ziekte is. Ik wil dit te weten komen door goed te weergeven in grafieken hoe deze maatregelen de grafiek beïnvloeden en veranderen. Om te weten te komen hoe ik deze maatregelen op een accurate manier kan representeren in mijn model wil ik eerst onderzoek doen naar welke maatregelen bij epidemiologie vaak worden toegepast om een virus te reguleren en daarnaast ook wat het effect van deze maatregelen is (oftewel: hoe klein wordt de kans op besmetting als iemand zich aan deze maatregelen houdt).

Onderzoeksvraag

Wat is het effect van verschillende maatregelen op het verloop van een epidemie?

Hypothese

Mijn verwachting is dat het toepassen van maatregelen zoals bijvoorbeeld het dragen van mondkapjes en in quarantaine gaan bij besmetting ervoor kan zorgen dat een virus zich minder snel zal verspreiden en er dus geen extreme piek bereikt zal worden waardoor uiteindelijk een minder groot deel van de bevolking besmet zal raken.

Vooronderzoek

Voordat ik wil gaan beginnen met het beschrijven van het gedrag van de agents en de werking van het model wil ik eerst onderzoek doen naar hoe de ontwikkeling van een model weergegeven kan worden en welke maatregelen vaak toegepast worden om de verspreiding van een virus in te perken en wat het effect van deze maatregelen is.

Weergave van de epidemie

Uit mijn onderzoek blijkt dat er verschillende manieren zijn om de verspreiding van een virus weer te geven binnen de epidemiologie, en dat de manier afhangt van hoe het virus zich verspreidt. Zulke manieren worden ziektecompartimentenmodellen genoemd, en het meest bekende model hiervan is het SIR-model, waarbij er gekeken wordt naar drie factoren: hoeveel mensen uit de gehele populatie zijn vatbaar voor het virus (de S van susceptible), hoeveel mensen zijn geïnfecteerd met het virus (de I van infected) en hoeveel mensen zijn hersteld van het virus (de R van recovered). Andere modellen waar ik rekening mee kan houden bij het bouwen van mijn model zijn bijvoorbeeld het SIS-model, waarbij een patiënt geen langdurige immuniteit krijgt na herstel en dus direct weer besmet kan worden, waardoor de R wegvalt. Daarnaast is er ook het SEIR-model (met de E van exposed), waarbij er een periode is waarin iemand wel besmet is en mensen verspreid, maar er nog geen klachten zijn waardoor deze persoon niet in quarantaine gaat.

Maatregelen en hun effecten

De maatregelen die getroffen worden bij een virus zullen verschillen per virus, aangezien niet elk virus zich op dezelfde manier verspreidt. Een virus zoals HIV verspreidt zich namelijk op een andere manier dan het Covid-19 virus. Ik heb ervoor gekozen om in dit model me bezig te houden met virussen die met weinig fysiek contact verspreid kunnen worden, omdat deze makkelijker zijn om te modelleren en beter generaliseerbaar zijn voor een samenleving. Daarnaast zal er bij dergelijke ziektes ook geen rekening hoeven te worden gehouden met factoren als seksuele activiteit of dergelijke variabelen die een model ingewikkeld en minder generaliseerbaar kunnen maken.

Het is daarnaast belangrijk om te kijken waarom een virus ingeperkt moet worden. Dit hoeft geen super complexe reden zijn, maar is wel belangrijk om rekening mee te houden. Een virus dat geen effect heeft op het welzijn van mensen zal namelijk minder sterk/niet eens bestreden hoeven worden, terwijl een virus dat doden kan veroorzaken wel degelijk maatregelen nodig heeft om het dodenaantal zo klein mogelijk te houden. Daarnaast is het belangrijk om te kijken naar wat het basale reproductiegetal van een virus is, als deze onder de 1 ligt betekent dit dat het virus zich al zal uitroeien zonder de toepassing van maatregelen. Bij Covid-19 lag dit getal rond de 8, wat betekent dat het zonder maatregelen de hele samenleving zou besmetten.

Er zijn verschillende maatregelen die getroffen kunnen worden om de verspreiding van een virus te beperken. In gunstige gevallen kan dit leiden tot de uitroeiing van een virus, maar vaak zorgt het alleen maar voor een uitstel. Veel maatregelen zijn vaak gericht op het verminderen van personenverkeer, waardoor mensen in gebieden met veel infecties minder snel besmet raken. Een andere maatregel is het opsporen van mensen die besmet zijn door het virus en deze in quarantaine te plaatsen, waardoor ze niemand meer kunnen besmetten. Deze quarantaine kan worden opgelegd doordat de overheid mensen dagelijks test en ze bij besmetting direct in quarantaine zet of door mensen zelf hun symptomen te laten monitoren, wat minder accuraat maar ook een stuk minder ingrijpend is. Andere maatregelen die vaak getroffen worden zijn het verplichten van mondkapjes en het laten inenten van de bevolking.

Het is belangrijk om te vermelden dat deze maatregelen niet altijd direct worden ingezet, maar dat het virus vaak even zijn gang moet gaan om op deze manier te kijken wat het effect van het virus is, hoe het zich verspreidt en wat er mogelijk zou kunnen gebeuren als er geen maatregelen genomen worden. Op dat laatste deel zal het model ook antwoord kunnen geven.

Formaliseren

Welke soorten agents zijn betrokken bij dit fenomeen?

Bij dit model zal er één soort agent (oftewel breed) betrokken zijn: namelijk een mens.

In wat voor omgeving functioneren de agents?

De agents functioneren in een lege omgeving waarin ze vrij kunnen bewegen. Bij setup worden de agents random verspreid over de gehele map. Door de variabele *city-centre?* aan te zetten, zal er een markt in het midden van de map gemaakt worden, die het gedrag van de agents zal aanpassen door ze vaker naar het midden te laten komen om de “markt” te bezoeken, wat een stadscentrum in het echte leven nabootst.

Wat voor eigenschappen hebben de agents?

De mensen hebben verschillende eigenschappen:

- **status:** in welke stage van het SIR model bevindt de agent zich: susceptible, infected of recovered?
- **time-infected:** hoelang draagt een agent de status infected?
- **wears-mask?:** een boolean die aangeeft of een agent wel of geen masker draagt.
- **socially-distanced?:** een boolean die aangeeft of een agent wel of geen afstand houdt
- **is-quarantined?:** een boolean die aangeeft of een agent wel of niet in quarantaine gaat na besmetting.

Wat voor omgevingsvariabelen zijn er?

Onderstreepte variabelen kunnen door de gebruiker worden aangepast

Simulatie:

- **population-size:** geeft aan hoeveel agents er zijn aan het begin van de simulatie.
- **initial-infected-count:** geeft aan hoeveel agents de status infected hebben aan het begin van de simulatie.
- **shape-variant:** multiple-choice lijst die de gebruiker de vorm van de agents laat kiezen
- **city-centre?:** boolean die aangeeft of de simulatie een centrum bevat, waar agents zich regelmatig rondom bevinden en dus dichterbij elkaar zijn.
- **market-cords:** een lijst van coördinaten die aangeeft waar het centrum zich bevindt.

Virus:

- **infectiousness-percentage:** float die aangeeft hoe groot de kans op virus-overdracht bij contact tussen agents is, als één agent de status infected draagt.
- **days-immune:** int die aangeeft hoe lang immuun is van de ziekte na herstel
- **longlasting-immunity?:** boolean die aangeeft of er immuniteit wordt opgebouwd

- **disease-duration**: int die aangeeft hoe lang iemand besmet zal zijn

Maatregelen:

- **mask-percentage**: float die aangeeft hoeveel procent van de bevolking een masker draagt.
- **mask-threshold**: int die aangeeft vanaf hoeveel besmettingen mensen maskers beginnen te dragen.
- **social-distance-percentage**: float die aangeeft hoeveel procent van de bevolking een afstand houdt om contact te vermijden.
- **social-distance-threshold**: int die aangeeft vanaf hoeveel besmettingen mensen beginnen om afstand te houden.
- **quarantaine?**: boolean die aangeeft of quarantaine wel of niet wordt ingezet als maatregel
- **quarantaine-percentage**: float die aangeeft hoeveel procent van de bevolking na besmetting in quarantaine gaat.
- **quarantaine-threshold**: int die aangeeft vanaf hoeveel besmettingen mensen beginnen in quarantaine te gaan.

Observatie:

- **total-infected-count**: geeft aan hoeveel agenten ooit de status infected hebben gedragen
- **mask-threshold-reached?**: boolean die aangeeft of de total-infected-count hoger ligt dan de mask-threshold.
- **social-distance-threshold-reached?**: boolean die aangeeft of de total-infected-count hoger ligt dan de social-distance-threshold.
- **time-since-recovery?**: int die aangeeft hoeveel ticks er zijn geweest sinds het herstel van een agent. Deze variabele is alleen belangrijk in het SIR-model.

Wat voor gedrag hebben de agents?

Beweging:

- Baseline: agents bewegen zich vrijuit en willekeurig over de map
- **City-centre?**: agents bewegen zich vrijuit over de map, maar de kans dat ze het midden van de map bezoeken is groter dan normaal.
- **Is-quarantined?**: agents met de status infected, krijgen op basis van de quarantaine-percentage variabele toegewezen of deze variabele klopt. Zo ja, dan verplaatsen ze zich naar een afgelegen punt in de hoek van de map totdat ze weer herstelt zijn.
- **Socially-distanced?**: agents krijgen op basis van de social-distance-percentage variabele toegewezen of deze variabele klopt. Zo ja, dan stoppen ze, zodra de

social-distance-threshold-reached? variabele true is, met bewegen en zullen ze alleen nog bewegen op één plek (hun huis).

Contact met besmette persoon:

- Baseline: de kans dat agenten met de status susceptible besmet worden na contact met een agent die de status infected draagt, staat gelijk aan de infectiousness-percentage variabele.
- **Wears-mask?**: als deze variabele waar is wordt de kans dat agenten met de status susceptible besmet worden na contact met een agent die de status infected draagt, verminderd naar een zesde van de kans dat ze normaal besmet zouden worden, aldus een onderzoek van het RIVM.
- **Socially-distanced?**: als deze variabele waar dan wordt het beweegpatroon van agents beperkt omdat ze proberen afstand te houden van anderen. In het model wordt het houden van afstand niet visueel weergegeven, maar er wordt hiermee wel rekening gehouden bij het berekenen van de kans op besmetting. Uit een onderzoek van Daghriri & Özmen (2021) blijkt dat het houden van ander half meter afstand bij een virusuitbraak kan leiden tot een reductie van de besmettingskans van 80-100%. In mijn model zal ik rekening houden met een gemiddelde reductie in besmettingskans van 90%.

Infectie:

- Baseline: als een agent met de status infected bij een tick op dezelfde locatie staat als een agent met de status susceptible, wordt deze (aan de hand van het besmettingspercentage) besmet.
- **Quarantaine?**: als deze variabele true is wordt er aan de hand van de quarantaine-percentage variabele aan de recentelijk besmette agent een waarde van true of false toegediend bij de variabele is-quarantined?. Als deze variabele waar is gaat de agent in quarantaine.

Herstel:

- Baseline: Na een periode van twee weken ($14 * 4$ ticks) wordt een besmette persoon hersteld. Deze persoon zal zich dan geen mondkapjes meer dragen, geen afstand houden en niet meer in quarantaine gaan, aangezien hij niet meer besmet kan worden.
- **Longlasting-immunity?**: Bij deze variabele wordt bepaald of dit model zich in de SIS of SIR versie afspeelt. Als de variabele vals is zullen agents direct na herstel weer vatbaar zijn, waardoor het SIS model gebruikt zal worden.

Wat voor gedrag hebben de agents onderling of met de omgeving?

Er zijn twee groepen agents die met elkaar omgaan: geïnfecteerde agents en vatbare agents kunnen met elkaar in contact komen. Als zij bij een tick op dezelfde locatie staan, kan de geïnfecteerde agent de vatbare agent infecteren met het virus op basis van de besmettingskans. De agents reageren niet op hun omgeving

Als je dit fenomeen in discrete tijdseenheden zou beschrijven, wat gebeurt er in elke tijdseenheid (d.w.z. bij elke tik van de klok) en in welke volgorde?

Mijn model zal per 4 ticks 1 dag vooruit gaan, oftewel, 1 tick is 6 uur. Bij de eerste tick komen de eerste geïnfecteerde mensen in de samenleving en des te langer de klok loopt, des te langer de simulatie duurt.

Welk model wordt er gebruikt om het verloop van de epidemie te meten?

Het model zal in eerste instantie gebruik maken van het SIR-model, waarbij mensen eerst vatbaar zijn, daarna besmet kunnen raken en daarna besmet raken. Ik zal daarnaast ook een optie geven om de status “recovered” weg te laten, door “longlasting-immunity?” uit te zetten, zodat mensen direct weer vatbaar zijn na besmetting. In dit geval is er sprake van een SIS-model.

Omschrijving van een tik (elke 6 uur)

1. Er wordt gekeken of er nog geïnfecteerde mensen zijn, zo niet, dan wordt de simulatie gestopt.
2. Er wordt gecheckt of de mask threshold en de social distancing threshold die door de gebruiker is ingesteld al bereikt is
3. Als de city-centre? variabele true is:
 - a. Er wordt gekeken of iemand zich al in het centrum bevindt en zo ja, wordt deze persoon uit de markt geplaatst en naar het gebied eromheen
 - b. Er is de kans van 1 op 300 dat iemand naar de markt in het centrum gaat
4. Er wordt gekeken of iemand doet aan afstand houden en zo ja, dan beweegt die persoon op een bijzondere manier, zo niet, dan beweegt deze persoon op een normale manier
5. Er wordt gekeken of iemand in quarantaine moet en zo ja, wordt deze persoon naar de rechterbovenhoek verplaatst.
6. Er wordt gekeken of iemand besmet is
 - a. Als iemand besmet is wordt de counter die bijhoudt hoe lang ze al ziek zijn met één omhoog gezet
 - b. Als de waarde van de counter gelijk staat aan de tijd dat iemand ziek is, herstelt de persoon
 - c. Er wordt gekeken of er op het moment op dezelfde locatie iemand staat die vatbaar is voor de ziekte en dan wordt er op basis van de besmettingskans bepaald of deze persoon besmet wordt en of deze dan ook in quarantaine gaat.

7. SIR: Er wordt gekeken of iemand hersteld is
 - a. De counter die de tijd dat iemand hersteld is wordt omhoog gedaan
 - b. Als iemand langer beter is dan de days-immune variabele dan wordt deze persoon weer vatbaar en wordt er gekeken aan welke maatregelen hij zich zal houden.

Setup procedure

1. **clear-all**: reset alle variabelen en plots naar hun originele stand
2. **reset-ticks**: reset ticks naar 0
3. **ask patches [set pcolor white]**: maakt alle patches wit
4. **let counter 0**: maakt een counter met waarde 0
5. **create-humans population-size**: een aantal mensen bepaald door de gebruiker bepaald gegenereerd
 - a. **set counter counter + 1**
 - b. **set shape shape-variant**
 - c. **set color green**
 - d. **set size 1**
 - e. **set status "susceptible"**
 - f. **set socially-distanced? false**
 - g. **set wears-mask? false**
 - h. **set is-quarantined? false**
 - i. **set xcor xcor - 16 + random-float 48**
 - j. **set ycor ycor - 16 + random-float 48**
 - k. **if random 2 = 1 [set xcor xcor * -1]**
 - l. **if random 2 = 1 [set ycor ycor * -1]**
6. **ask n-of initial-infected-count humans**: vraag aan het aantal mensen die volgens de gebruiker aan het begin geïnfecteerd moeten worden
 - a. **set color red**
 - b. **set status "infected"**
 - c. **set total-infected-count initial-infected-count**
 - d. **setxy 0 0**
7. **set mask-threshold-reached? false**
8. **set social-distance-threshold-reached? false**
9. **set market-cords [[1 1] [1 -1] [-1 1] [-1 -1] [0 0] [0 1] [0 -1] [1 0] [-1 0]]**
10. **if city-centre? [ask patches at-points market-cords [set pcolor grey - 3]]**: maak de patches in het midden grijs als er een centrum is

Go procedure

1. **if count humans with [status = "infected"] = 0 [stop]**: als er niemand meer geïnfecteerd is stopt de simulatie
2. **check-mask-threshold**: check of de threshold van maskers al overschreden is
3. **check-social-distance-threshold**: check of de threshold van social distancing al overschreden is
4. **ask humans**
 - a. **if city-centre?**
 - i. **if (xcor = (one-of [-1 0 1]) and ycor = (one-of [-1 0 1])) [setxy (one-of [-10 -8 -6 -4 -3 -2 2 3 4 6 8 10]) (one-of [-10 -8 -6 -4 -3 -2 2 3 4 6 8 10])]**: als iemand zich al op de markt bevindt gaan ze weg
 - ii. **if random 300 = 1**
 1. **setxy (one-of [-1 0 1]) (one-of [-1 0 1])**: ga naar de markt
 - b. **if socially-distanced? = false [move]**: beweeg normaal
 - c. **if socially-distanced? [move-while-distanced]**: beweeg als iemand die afstand houdt
 - d. **if is-quarantined? [setxy max-pxcor max-pycor]**: ga naar de rechterbovenhoek als je in quarantaine moet
5. **if status = "infected"**: als iemand geïnfecteerd is,
 - a. **set time-infected time-infected + 1**
 - b. **if time -infected > 56 [recover]**: als de tijd dat iemand geïnfecteerd is hoger is dan 56 (oftewel 2 weken) wordt diegene herstelt
 - c. **infect**: kijk of andere mensen zich op dezelfde locatie bevinden en besmet ze
6. **if status = "recovered"**: als iemand hersteld is (SIR)
 - a. **set time-since-recovery time-since-recovery + 1**: verhoog de time-since-recovery counter
 - b. **if time-since-recovery >= (days-immune * 4)**: als iemand langer het maximaal aantal immune dagen heeft bereikt:
 - i. **set status "susceptible"**: maak deze persoon weer vatbaar voor ziekte
 - ii. **set color green**
 - iii. **if random 100 < mask-percentage and mask-threshold-reached? [set wears-mask? true set color cyan]**: bepaal of deze persoon een mondkapje gaat dragen
 - iv. **if random 100 < social-distance-percentage and social-distance-threshold-reached? [set socially-distanced? true set color magenta]**: bepaal of deze persoon afstand gaat houden
7. **tick**

Validatie

Microvalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de agents overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd? Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?

Het gedrag van de agents komt in grote lijnen, maar niet volledig overeen met het gedrag van mensen in de realiteit. Dat komt doordat het gedrag van mensen door véél meer factoren wordt beïnvloedt, dan uit te drukken is in een simpel model. Factoren zoals naar werk gaan, het bezoeken van feesten, interacties met familie, sterfte, slapen, welzijn of andere factoren die het menselijk gedrag kunnen beïnvloeden worden niet meegenomen waardoor het gedrag van de agents in het model niet volledig accuraat is. Zo kan de factor welzijn bijvoorbeeld van invloed zijn op dat een agent zich na een tijdje niet meer aan een maatregel houdt omdat die ongelukkig is. Daarnaast is het voor agents al vanaf dag 1 bekend dat ze besmet zijn met het virus, terwijl dit in het echte leven vaak een paar dagen duurt, wat ervoor zorgt dat dit gedrag ook niet volledig overeenkomstig is met de realiteit. Dit verschil is echter niet heel relevant op de onderzoeksvraag omdat het gedrag alsnog in het algemeen overeenkomt met het gedrag van normale mensen in een epidemie en dus kan het model een waardevol inzicht bieden waarmee de onderzoeksvraag beantwoord kan worden. Om dit gedrag aan te passen om het wat realistischer te maken zouden er meer gedragsregels voor de agents kunnen worden toegevoegd en zouden er meer variabelen geïntroduceerd kunnen worden zoals bijvoorbeeld welzijn, omdat dit een belangrijke rol speelt in hoeverre mensen bereid zijn om zich aan maatregelen van een epidemie te houden.

Macrovalidatie: in hoeverre komt het gedrag van de het systeem als geheel in jouw model overeen met het gedrag dat in werkelijkheid wordt geobserveerd. Als het niet (helemaal) overeenkomt, zijn de verschillen dan relevant voor je onderzoeksvraag?

Hoewel het systeem erg vereenvoudigd is, komt het wel grotendeels overeen met de werkelijkheid. In mijn model wordt de effectiviteit van verschillende maatregelen getest en is te zien dat een toename van de inzet van deze maatregelen leidt tot een daling in het aantal infecties, wat overeenkomt met de werkelijkheid. Een deel waarin mijn model verschilt van de werkelijkheid is bijvoorbeeld de afwezigheid van vaccinaties. Daarnaast is het zo dat mijn model geen accurate weergave levert van individueel gedrag, wat ervoor zorgt dat het systeem als geheel niet helemaal valide is. Zoals al eerder benoemd is, zijn er verschillende factoren die het individuele gedrag kunnen beïnvloeden waar in dit model geen rekening mee wordt gehouden, zoals bijvoorbeeld het niveau van risico-aversie van de individu. Deze verschillen zijn echter niet van belang voor de onderzoeksvraag omdat mijn onderzoek zich bezighoudt met de invloed die bepaalde maatregelen hebben op de verspreiding van een epidemie, niet op de precieze

verloop van een epidemie zoals deze in het echt zou gebeuren. Om dit model realistischer te maken zouden er echter wel extra gedragsregels en maatregelen toegevoegd kunnen worden. Als voorbeeld zouden er bijvoorbeeld agents kunnen zijn die zich uit protest niet aan de regels houden, wat toegevoegd kan worden aan het model of zouden er vaccinaties in omloop kunnen komen die ook invloed hebben op het verloop van de epidemie, die ook toegevoegd kunnen worden aan het model. Daarnaast is het ook mogelijk dat maatregelen gedurende de epidemie minder effectief worden door mutaties van het virus waar ook geen rekening mee gehouden wordt. Om dit aan te passen zou het bijvoorbeeld mogelijk zijn om door de gebruiker te laten kiezen of er na verloop van tijd een daling in de effectiviteit van maatregelen komt. Het zou echter niet mogelijk zijn om het model compleet valide te maken, omdat er zeer geavanceerde methodes zouden moeten worden toegepast om dit model gelijk te maken aan de realiteit, wat vaak met modellen niet nodig is omdat het doel van een model is om in brede lijnen de resultaten van een simulatie weer te geven.

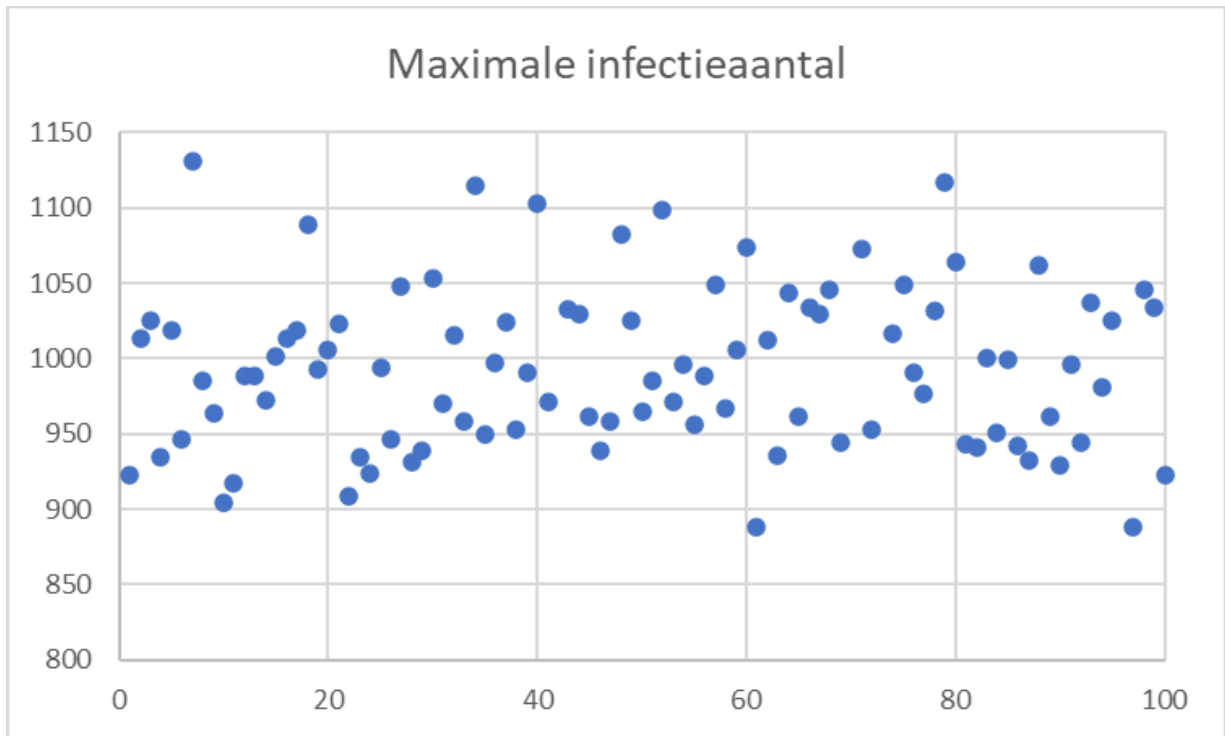
Experimenten

Om de experimenten uit te voeren wil ik eerst een baseline scenario vaststellen. Hier zijn de volgende variabelen vastgesteld die bij alle experimenten hetzelfde zullen zijn:

- a. **shape-variant** circle
- b. **city-centre?** on
- c. **population-size** 2000
- d. **initial-infected-count** 1
- e. **infectiousness** 10%
- f. **longlasting-immunity?** on
- g. **disease-duration** 14 days
- h. **days-immune** 365 days
- i. **threshold** 500

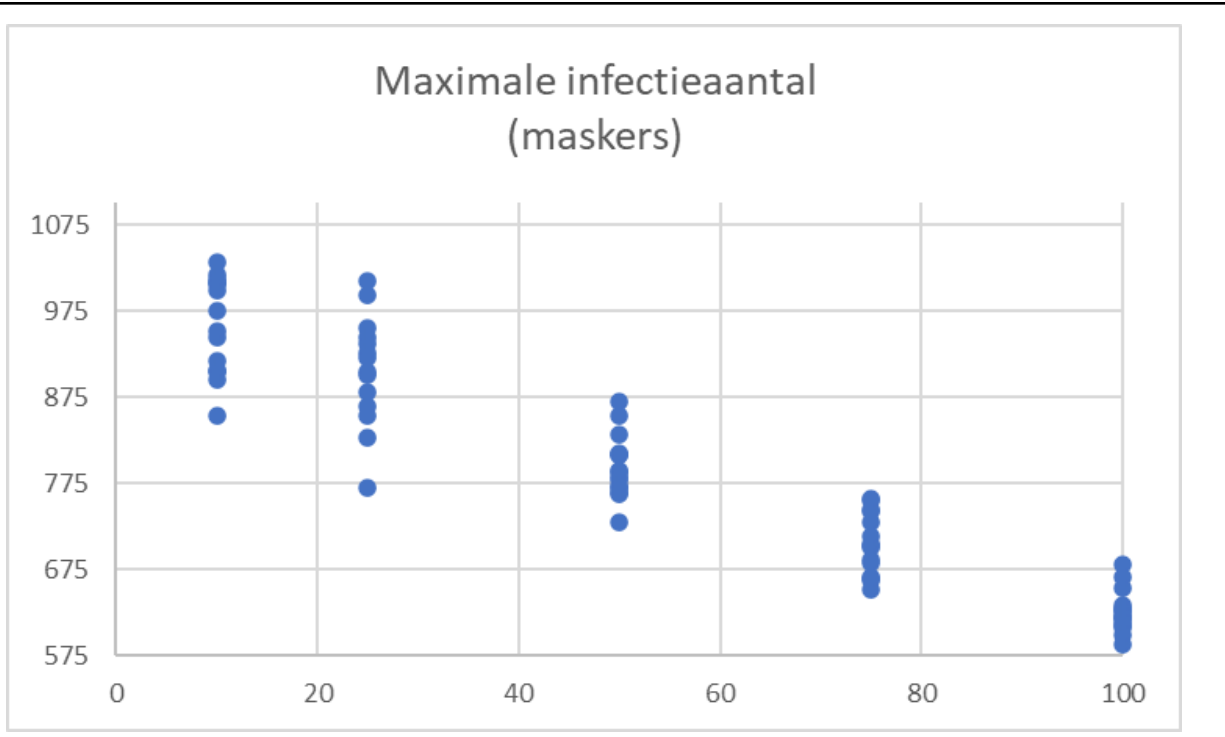
Bij mijn experimenten zal ik letten op het maximale infectie aantal omdat dit een goede factor is om te zien hoe hoog de maximale piek van geïnfecteerde personen is. Ik zal een baseline vastleggen om te zien hoe hoog de piek van de epidemie gemiddeld is zonder maatregelen en daarna zal ik per maatregel met een threshold van 500 kijken hoe hoog de piek van geïnfecteerden ligt bij 10%, 25%, 50%, 75% en 100%. Dit doe ik om antwoord te kunnen geven op de vraag wat het effect is van bepaalde maatregelen op het verloop van een epidemie. Des te lager het maximum is, des te sterker het effect van de maatregel, aangezien er minder mensen besmet raken. Dit zal dus helpen om antwoord te geven op de hoofdvraag “*Wat is het effect van verschillende maatregelen op het verloop van een epidemie?*”.

Ik ga gebruik maken van de BehaviourSpace en zal elke combinatie 15 keer runnen en daarna de gegevens in spreadsheets zetten om ze om te zetten in grafieken en om de gemiddelden van de pieken per modus te kunnen vergelijken.

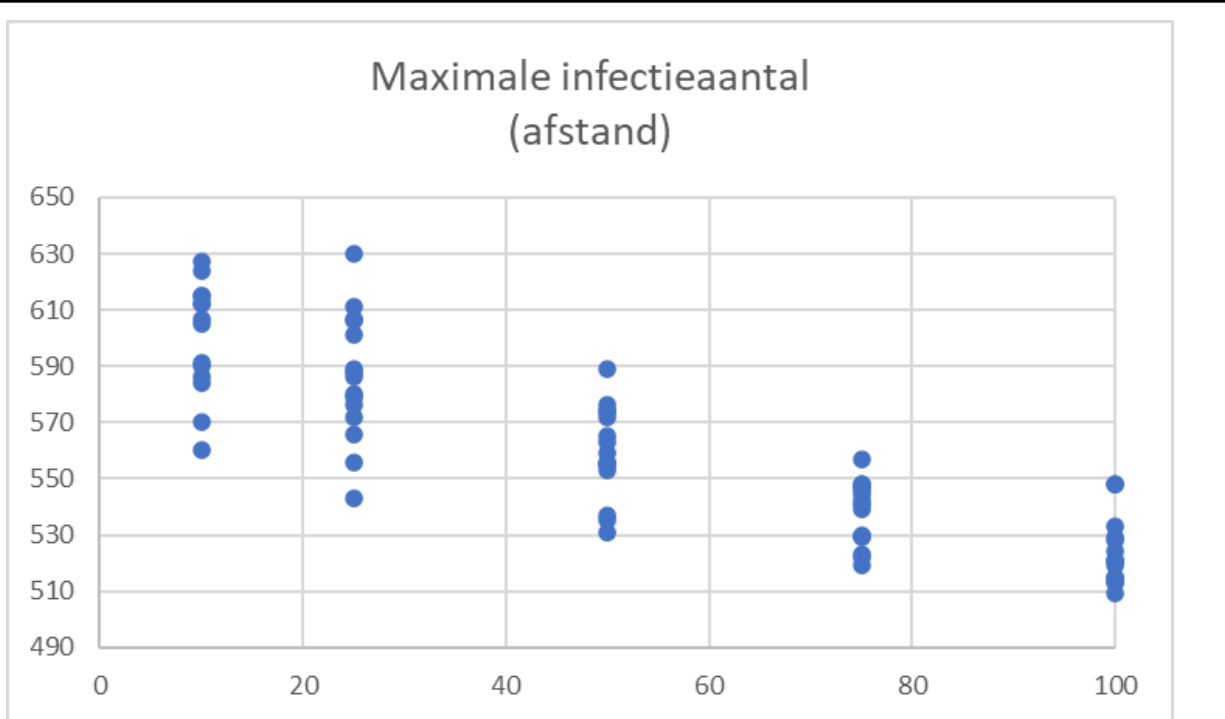


Een weergave van de maximale infectie aantallen bij de baseline scenario.

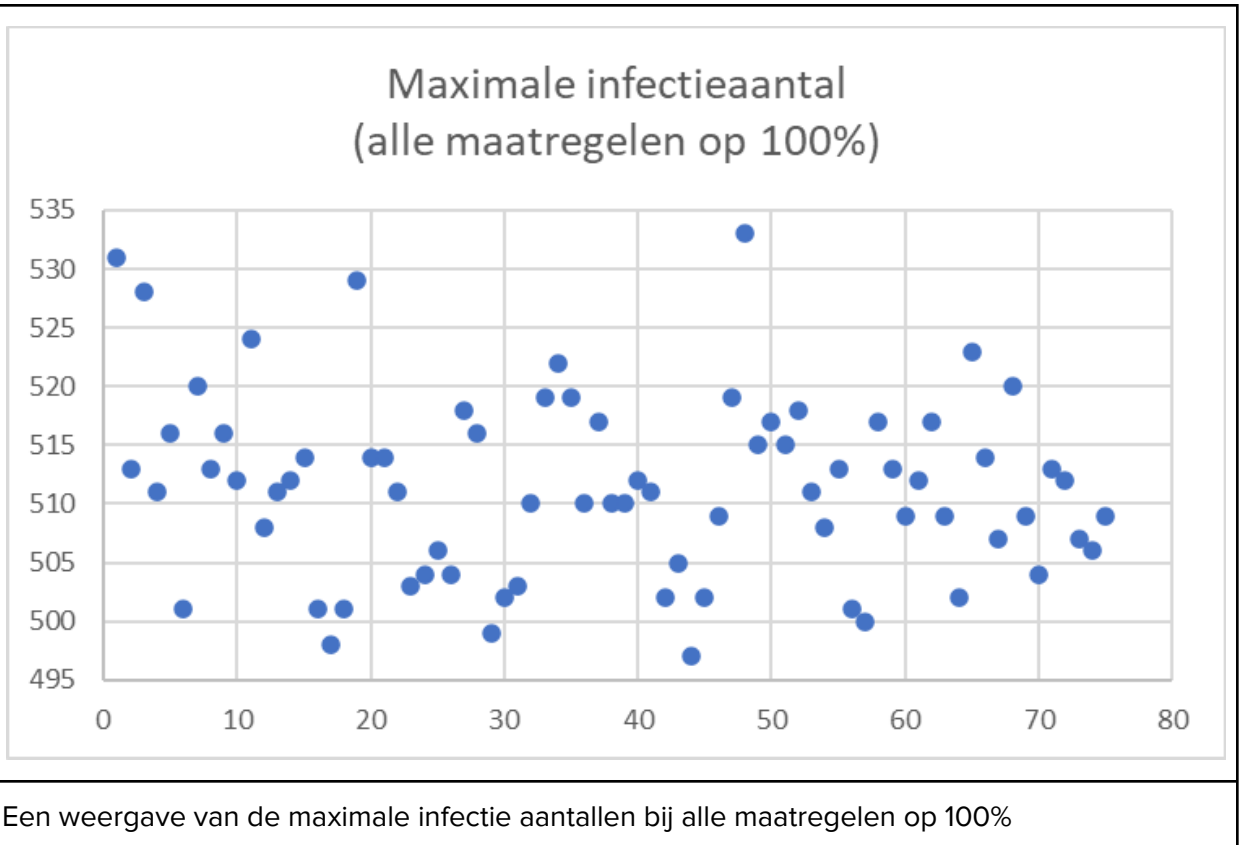
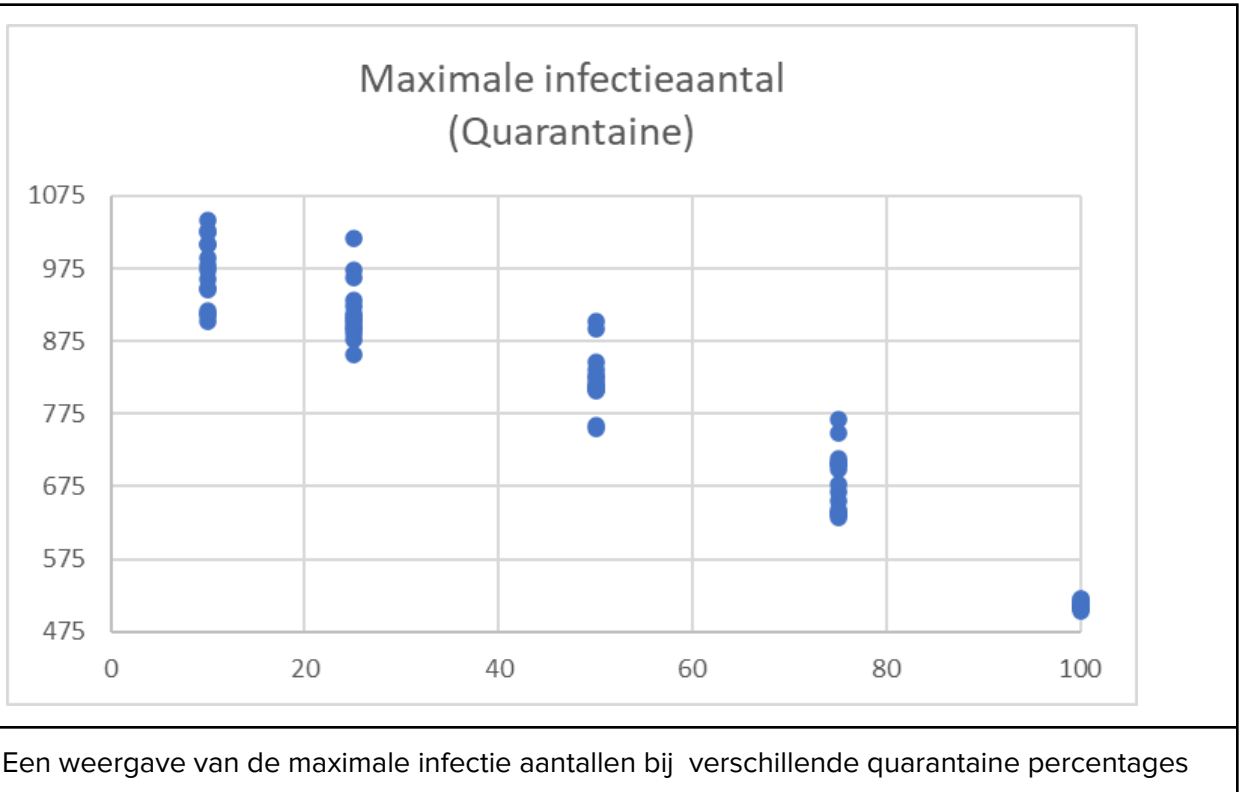
Gemiddelde: 984



Een weergave van de maximale infectie aantallen bij verschillende maskerpercentages



Een weergave van de maximale infectie aantallen bij verschillende social distancing percentages




Percentage	Gemiddelde				
	Quarantaine	Afstand	Maskers	Alle	Baseline
10	970	600	895	512	984
25	856	586	906		
50	821	560	795		
75	683	538	708		
100	512	489	626		

Analyse

Aan de grafieken en de gemiddelde cijfers van de grafieken bij elke stand is te zien dat de maatregelen vrijwel altijd een effect hadden op het verloop van de epidemie. De maatregel met het meeste succes bij het inperken van een piek is de afstand (social distance) maatregel, waarbij het gemiddelde per stand tussen de 400-500 minder is dan bij het baseline scenario.

Aan de tabel is te zien dat de maatregelen in effectiviteit stijgen, naarmate de hoeveelheid mensen die zich aan deze maatregelen houden stijgt. Dat betekent dan dat er een verband ligt tussen de inzet van maatregelen en het aantal infecties. Dit verband kan per maatregel worden uitgelegd:

- Quarantaine: zodra quarantaine verplicht wordt zullen mensen die besmet raken met het virus direct in isolatie gaan waardoor ze niemand meer kunnen besmetten. Deze quarantaine heeft als gevolg dat er steeds minder mensen besmet worden en dat het aantal besmette mensen dus sneller zal dalen en dat de piek dus ook minder hoog komt te liggen, omdat een deel van de mensen niemand meer kan besmetten. Het effect van quarantaine op het verloop van een epidemie is dus dat de epidemie sneller zal ophouden omdat het virus zich moeilijker kan verspreiden.
- Maskers dragen: zodra maskers verplicht worden zullen mensen een stuk minder snel besmet raken, wat betekent dat de besmettingspiek minder snel bereikt wordt en het virus zich minder snel verspreidt. Het dragen van maskers heeft dus als gevolg dat mensen minder snel besmet raken, omdat ze gedeeltelijk beschermd worden tegen het virus. Het effect van het dragen van mondkapjes op het verloop van een epidemie is dus dat de epidemie sneller zal ophouden omdat het virus zich moeilijker kan verspreiden.
- Afstand houden: zodra mensen verplicht worden om afstand te houden betekent dit dat ze minder snel contact met elkaar maken, wat betekent dat het moeilijker wordt om elkaar te besmetten en er dus ook minder mensen besmet worden, waardoor de piek minder hoog komt te liggen. Het effect van het houden van afstand op het verloop van



een epidemie is dus dat de epidemie sneller zal ophouden omdat het virus zich moeilijker kan verspreiden.

Hoewel het niet ingaat op de onderzoeksvraag, vind ik het wel interessant om te speculeren over het verschil van de effecten die de maatregelen op de verspreiding van het virus hebben. Als we naar de mediaan van de gemiddelden van de drie maatregelen kijken zien we dat het houden van afstand het meeste effect heeft op de verspreiding van het virus, daarna het dragen van maskers en daarna het in quarantaine plaatsen van geïnfecteerde mensen. Ik denk zelf dat dit komt doordat het vermijden van contact de beste manier is om te voorkomen van contact, uit cijfers van het RIVM blijkt zelfs dat dit leidt tot een reductie naar 10% besmettingskans ten opzichte van iemand die zich op normale wijze gedraagt. Daarna is het dragen van een masker het meest effectief en ik denk dat dit komt doordat het de kans op infectie bij contact drastisch vermindert, hoewel het niet op kan tegen het vermijden van contact. Het is echter wel een goed alternatief voor mensen die gedwongen worden naar buiten te gaan omdat ze bijvoorbeeld naar werk moeten. Ten slotte heeft het in quarantaine plaatsen van mensen vaak het minst sterke effect omdat het (tenzij het bij 100% van de besmette mensen gebeurt) geen effect heeft over hoe een virus zich verspreidt, het zorgt alleen dat er minder mensen in omloop zijn om anderen te besmetten. Dit betekent echter dat de mensen die niet in quarantaine zijn andere mensen zonder enige beperkingen kunnen besmetten, waardoor het vooral bij lagere percentages leidt tot de hoogste pieken. Wat ik ten slotte ook interessant vind is dat het gemiddelde aantal besmettingen bij alle maatregelen op 100% precies hetzelfde is als het gemiddelde aantal besmettingen bij quarantaine op 100%. De reden hiervoor is denk ik dat er, zodra alle besmette personen in quarantaine gaan, er geen behoefte meer is aan mondkapjes en social distancing en deze maatregelen daarom geen effect meer hebben op het maximale aantal besmette personen.

Conclusie

Door te kijken naar wat het effect van maatregelen is op het maximale aantal besmettingen bij een epidemie, kunnen we antwoord geven op de onderzoeksvraag *“Wat is het effect van verschillende maatregelen op het verloop van een epidemie?”*. Het antwoord is dat het toepassen van bepaalde maatregelen ervoor zorgt dat een piek bij een epidemie verminderd wordt en de epidemie minder hevig verloopt.




Discussie

Uit het experiment is gebleken dat mijn hypothese klopt: omdat de maatregelen er inderdaad voor hebben gezorgd dat pieken minder hoog werden wat in de simulatie er ook voor zorgt dat mensen minder snel besmet raken. Er waren weinig onverwachte resultaten, behalve het feit dat het gemiddelde maximale aantal besmettingen bij 100% van alle maatregelen en 100% van quarantaine gelijk aan elkaar waren, maar ik heb mijn vermoeden voor waarom dit is al in de analyse benoemd. Ik denk dat, hoewel de validiteit op microschaal niet volledig klopt, dit onderzoek wel goed generaliseerbaar en dus betrouwbaar is omdat de gedragspatronen met betrekking tot maatregelen in grote lijnen wel overeenkomstig zijn met soortgelijke situaties in het echte leven. Dat betekent dus dat dit model gebruikt zou kunnen worden om in het echte leven beslissingen te maken over bijvoorbeeld het beste beleid om een epidemie te bestrijden in een samenleving. Om deze reden denk ik dat dit onderzoek ook relevant voor de bredere samenleving is, om zo meer inzicht te kunnen krijgen in het besluitvormingsproces van de overheid als er een virus in omloop is. Er zou kunnen worden voortgebouwd op dit model door de gebruiker meer controle over bepaalde variabelen te geven, waardoor dit model toepasbaarder zal worden voor meerdere virussen. Daarnaast zouden er meer maatregelen, zoals het vaccineren van de populatie, toegevoegd kunnen worden. In een vervolgonderzoek zou er gekeken kunnen worden naar welke combinatie van factoren het meest voordelig zou zijn voor de bevolking, aangezien het verplichten van al deze maatregelen in één keer namelijk veel ontevredenheid kan veroorzaken, zoals gezien is bij de reactie van het volk op de corona pandemie. Er zou dan een nieuwe factor geïntroduceerd moeten worden, het welzijn van een persoon. Bij het vervolgonderzoek zou gekeken kunnen worden naar een balans tussen het welzijn van iemand en het inzetten van maatregelen om een epidemie tegen te houden.

Reflectie

Ik ben erg tevreden met dit project en ik heb er veel van geleerd. Ik was aan het begin van dit project van plan om het te gebruiken als een soort van “proof of concept” voor mijn PWS, omdat ik iets met epidemiologie voor mijn PWS wilde doen leek het een perfecte match. Ik was echter snel van PWS onderwerp veranderd, maar ik was nog steeds bij hetzelfde onderwerp voor dit model gebleven, epidemiologie. Ik ben wel steeds van idee veranderd, zo wilde ik eerst cholera modelleren en daarna wilde ik influenza modelleren. Mijn plan voor het influenza model was om het te laten werken met variabelen afkomstig uit onderzoeken zoals het basale reproductiegetal en kijken naar de infectiegraad etc., en om mijn model dan te vergelijken met de dataset die gebruikt was voor het desbetreffende onderzoek. Zodra ik mijn onderzoek had afgerond bleek echter dat dit iets te gecompliceerd was en dat netlogo niet genoeg functionaliteiten bood om dit plan te realiseren. Uiteindelijk ben ik dus beland bij een algemene weergave van een virus, waarbij variabelen zoals de ziekteduur en infectiegraad aanpasbaar zijn door de gebruiker. Ik denk dat dit van al mijn ideeën ook het beste was, omdat mijn model nu veel beter en breder toepasbaar is. Ik vond daarnaast dat het toepassen van de maatregelen bij mijn model erg soepel ging. Ik had al snel een idee van hoe ik ze wilde implementeren en ik heb vrijwel geen problemen gehad met het coderen van de maatregelen. Ik heb sowieso veel gemak gehad bij het programmeren van dit project, omdat netlogo een simpele codeertaal heeft en het dus erg fijn was om ermee te werken. Het coderen en implementeren van mijn ideeën ging dus erg goed, maar wat beter had gekund is het bijhouden van documentatie, omdat ik nadat ik van idee was veranderd van het influenza model naar het huidige model mijn hele verslag eigenlijk opnieuw moest schrijven, maar dit niet heb gedaan en ik dus op het laatste moment dit hele verslag heb moeten schrijven, wat erg veel stress heeft opgeleverd. Ik de toekomst wil ik dus meer rekening houden met het verslag. Ik moet zeggen dat de aannames die ik heb gedaan m.b.t. hoe een maatregel werkt, ook uiteindelijk juist zijn gebleken zodra ik het gedrag van de agents bij de maatregelen ben gaan analyseren. Er zijn dus geen aspecten van het model die ik zou veranderen. In het begin van het model heb ik echter wel afgezien van het toevoegen van vaccinaties, omdat ik dacht dat vaccinaties geen goede invloed zouden zijn omdat veel vaccinaties geen invloed hebben op de verspreiding van een virus, maar alleen op het effect dat een virus op iemand heeft. Ik had er echter niet bij stilgestaan dat er ook vaccins zijn die wel de kans op besmetting kunnen beperken en dat ik de gebruiker dus gewoon zou kunnen hebben laten kiezen wat het effect van een vaccin is, zodat de maatregel vaccinaties nog steeds op een accurate wijze vertegenwoordigd zou kunnen worden in dit model. Hoewel het niet noodzakelijk is voor de onderzoeksvraag, omdat deze al goed beantwoord is met de 3 bestaande maatregelen, voelt het wel of er iets mist en daarom zou ik het als ik overnieuw zou beginnen wel toevoegen. Daarnaast zou ik als ik overnieuw zou kunnen beginnen een mogelijkheid bieden voor de gebruiker om een modus toe te voegen waarbij mensen die besmet raken niet direct



weten dat ze besmet zijn. Dit zou het model omzetten naar een SEIR-model en ik denk dat dit een meer accurate weergave zou bieden van het menselijke gedrag en dat de validiteit op micro-niveau dus hoger zal liggen. Op mijn wishlist staan dus vaccinaties en het toevoegen van de “exposed” status aan het besmetting proces.

Ik denk dat de les die ik zal meenemen naar volgende projecten is om de documentatie goed bij te houden, omdat ik heb gemerkt dat het voor mij erg stressvol is geweest om dit allemaal in een hele korte periode te doen.



Planning

Fase	Wat	Wanneer af
1	Onderzoekopstel	20-10-23
2	Logica model	23-10-23
3	Model implementeren	07-10-23
4	Validatie	10-11-23
5	Experiment, analyse, conclusie	13-11-23
6	Reflectie	16-11-23

Logboek

Wanneer	Wat	Opmerkingen	Lessons learned
11/09	ABM netlogo cursus deel 1 + netlogo downloaden		
18/09	ABM netlogo cursus deel 2 en 3		Ik heb geleerd hoe ik een model kan bouwen in netlogo
20/09	Bosbrandmodel nabouwen	Ik had niet gekeken naar het bosbrandmodel van netlogo en heb geprobeerd om het op eigen houtje te bouwen	
22/09	Bosbrandmodel nabouwen		
23/09	Bosbrandmodel nabouwen	Omdat ik niet had gekeken naar het bestaande bosbrandmodel had ik het onhandig aangepakt (bomen en vuur waren agents ipv patches wat alles gecompliceerd maakte)	Ik heb geleerd hoe ik agents en patches op de juiste wijze kan gebruiken en wat het voornaamste verschil tussen deze twee zijn.
25/09	Bosbrandmodel afmaken + fundament doorlopen		
29/09	Fundament afronden + zoeken naar casus		
02/10	Casus gevonden + vooronderzoek (1a: literatuuronderzoek naar cholera)		
09/10	Andere casus gekozen dus opnieuw vooronderzoek (1a: literatuuronderzoek naar influenza) + wetenschappelijke onderzoeken lezen	Ik heb voor influenza gekozen omdat dit virus makkelijker te modelleren is omdat het door mensen wordt overgedragen.	

13/10	Stappen 1b en 1c: vooronderzoek		
14/10	Stap 1c: vooronderzoek + literatuuronderzoek		
16/10	Stappen 2a-c: Model ontwerpen		
17/10	Stappen 2c-2d: Model ontwerpen		
18/10	Stappen 2d-2h: Model ontwerpen		Veel geleerd over welke aspecten er komen kijken bij een virus en hoe ik dit kan modelleren
19/10	Begin stap 3: bestand aanmaken + github		
30/10	Technieken van andere modellen bekijken + begin stap 3: model implementeren		
05/11	Casus switch	Overgestapt naar een algemene weergave van een virus	Les geleerd: maak het jezelf niet te lastig 😊
08/11	Virus programmeren	Nog geen maatregelen, alleen variabelen en SIR-model	Les geleerd: verschil tussen globals en turtles-own
12/11	Eerste maatregel: maskers	Goed verlopen	
14/11	Maatregelen afstand en quarantaine toegevoegd	Makkelijk werk omdat de logica van de eerste maatregel hergebruikt kon worden. Het model was grotendeels al af	
15/11	The Great Reset (hele document verwijderd)	Opnieuw begonnen 😞	
16/11	Inleiding, casus en onderzoeksvraag, onderzoeksopzet, vooronderzoek, begin		Les geleerd: de waarde van een goede onderzoeksvraag

	formalisering		
17/11	Formalisering en validatie en experimenten		Les geleerd: het verschil tussen micro- en macrovalidatie en hoe een onderzoek met netlogo kan worden gedaan en hoe excel werkt
18/11	Analyse en conclusie + discussie en reflectie	Het was erg behulpzaam om dit alles te analyseren en het heeft goede inzichten opgeleverd	Les geleerd: Analyses zijn belangrijk
19/11	Puntjes op de i + logboek	Klaar 😊	

Literatuurlijst

- Booth, C., Clayton, M. P., Crook, B., & Gawn, J. M. (2013). Effectiveness of surgical masks against influenza bioaerosols. *Journal of Hospital Infection*, 84(1), 22–26.
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2013.02.007>
- <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Scatter>
- Liao CM, Yang SC, Chio CP, Chen SC. Understanding influenza virus-specific epidemiological properties by analysis of experimental human infections. *Epidemiol Infect* 2010;138:825-35. Epub 2009 Nov 18.
- Chowell, G., Ammon, C. E., Hengartner, N. W., & Hyman, J. M. (2006). Transmission dynamics of the great influenza pandemic of 1918 in Geneva, Switzerland: Assessing the effects of hypothetical interventions. *Journal of Theoretical Biology*, 241(2), 193–204.
doi:10.1016/j.jtbi.2005.11.026
- World Health Organization: WHO. (2019). Influenza (seasonal). www.who.int.
<https://www.who.int/health-topics/influenza-seasonal>
- Handig die LCI-richtlijn van het RIVM. (z.d.). LCI richtlijnen.
<https://lci.rivm.nl/richtlijnen/influenza>
- Wikipedia-bijdragers. (2020, 9 mei). Ziektecompartimentenmodel. Wikipedia.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Ziektecompartimentenmodel>
- Wallinga, J., Backer, J. A., Klinkenberg, D., Van Hoek, A. J., Hahné, S. J., Van Der Hoek, W., & Van Den Hof, S. (2020, 9 maart). De COVID-19-epidemie: indammen en afvlakken. NTvG. <https://www.ntvg.nl/artikelen/de-covid-19-epidemie-indammen-en-afvlakken>
- Daghriri, T., & Özmen, Ö. (2021). Quantifying the effects of social distancing on the spread of COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5566. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115566>
-