



Technische Hochschule Bingen
Fachbereich 2 – Technik, Informatik und Wirtschaft
Angewandte Bioinformatik (B. Sc.)

Gefahren einer Zombie-Apokalypse

Wissenschaftliche Hausarbeit für SYBI
abgegeben am: 30.09.2023
von: Franz-Eric Sill

Dozent: Prof. Dr. Asis Hallab

Zusammenfassung

Nachdem sich der Mensch über Generationen eine Vormachtstellung in der Nahrungskette erkämpft hat, können ihn wohl nur noch zwei Spezies ernsthafte Schwierigkeiten bereiten. Einerseits er selbst, andererseits kleinste parasitäre Organismen, die ein schweres Ziel darstellen. Um für eine durch diese Parasiten ausgelöste Pandemie Präventivmaßnahmen zu erörtern, wird in folgender Arbeit für eine solche eine Simulation modelliert, anhand derer die Möglichkeiten der Menschen in so einem Ernstfall ermittelt werden sollen. Exemplarisch wird dieses Modell auf einer Zombie-Apokalypse gründen, also einem Szenario, in dem der Parasit die Menschen gegen sich selbst ausspielt, mit dem Ergebnis, das tatsächlich die Möglichkeit besteht, so einen Ausbruch zu überleben.

Abstract

After humanity has fought for a dominant position in the food chain over generations, only two species may pose serious challenges. On one hand, humans themselves, and on the other, minute parasitic organisms that present a difficult target. To discuss preventive measures for a pandemic caused by these parasites, this thesis will model a simulation to determine human capabilities in such a critical situation. This model will be based on a zombie apocalypse scenario, where the parasite pits humans against each other, with the result that there is indeed a possibility of surviving such an outbreak.

Literatur

- [AJW14] Robert F. Allen, Cassandra Jens und Theodore J. Wendt. “Perturbations in Epidemiological Models”. In: *Letters in Biomathematics* 1.2 (Jan. 2014), S. 173–180. DOI: 10.30707/LiB1.2Allen. URL: <https://lettersinbiomath.journals.publicknowledgeproject.org/index.php/lib/article/view/185>.
- [Hei18] Anya Heise-von der Lippe. “Zombie Fictions”. In: *The Palgrave Handbook to Horror Literature*. Hrsg. von Kevin Corstorphine und Laura R. Kremmel. Cham: Springer International Publishing, 2018, S. 219–231. ISBN: 978-3-319-97406-4. DOI: 10.1007/978-3-319-97406-4_17. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97406-4_17.
- [Rad23] Rainer Radtke. *Entwicklung der weltweiten Fallzahl des Coronavirus (COVID-19) in 2022*. (Zugriff am 27.09.2023). 2023. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1094950/umfrage/entwicklung-der-weltweiten-fallzahl-des-coronavirus/>.
- [Smi14] Robert Smith?, Hrsg. *Mathematical Modelling of Zombies*. University of Ottawa Press, 2014. ISBN: 9780776621685.
- [Sta23] Statistisches Bundesamt. *Regionaldatenbank Deutschland (GENESIS-Online regional)*. (Zugriff am 25.09.2023). 2023. URL: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/>.

Abbildungsverzeichnis

1	Die Sigmoid-Funktion	4
2	Die Simulation ohne Parasit	5
3	Die Simulation ohne Helden	6
4	Die Simulation ohne Menschen	7
5	Die Simulation mit allen Spezies vertreten	8

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Literatur	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	2
3 Ergebnisse	5
4 Diskussion	9

1 Einleitung

Der Mensch hat sich an die Spitze der Nahrungskette gekämpft und diverse Möglichkeiten gefunden, sich gegen jegliche bekannten Lebewesen zu behaupten, die er sehen und anfassen kann. Doch was ist mit denen, die er nicht sehen kann? Die Bakterien und Viren oder kleinste Eukaryoten mit einer parasitären Überlebensstrategie beeinflussen ihre Wirte von innen. Um diesen Gefahren zu begegnen, hat sich in der Evolution ein sehr komplexes und starkes Immunsystem entwickelt, auch ist der Mensch selbst erfinderisch geworden und hat viel in der Medizin geforscht, um mit den Mikroorganismen auszukommen. Dennoch hat sich jüngst ein hoch infektiöses Virus (COVID-19) sehr schnell weltweit verbreitet und führte bei Millionen von Menschen zum Tode [vgl. Rad23], wo sich nun die Frage stellt, wann sich der nächste gefährliche Mikroorganismus entwickelt und verbreitet, mit womöglich noch mehr Todesfällen.

Man stelle sich eine Zombie-Apokalypse vor, ausgelöst durch einen Parasit, der seinem Wirt jegliche Persönlichkeit nimmt und anschließend als wandelndes Werkzeug nutzt, um weitere Lebewesen zu infizieren. Dieser Parasit wird durch Körperkontakt übertragen, da eine Übertragung über die Luft wohl kaum aufzuhalten wäre, wie oben genannter Virus vermuten lässt. Der erste seiner Art taucht in einer kleinen Stadt auf, und die Pandemie nimmt ihren Lauf. Dieses Szenario soll nun simuliert werden, um die Möglichkeiten unserer Spezies zu ermitteln, also ob der Parasit ausgerottet werden könnte, eine Koexistenz möglich oder die Menschheit dem Tode geweiht wäre.

Nicht nur in der unterhaltenden Fiktion [Hei18], sondern auch in der Wissenschaft gibt es schon diverse Begegnungen mit dieser Problematik. In dem Buch “Mathematical Modelling of Zombies” wird mittels mathematischen Modellen, Differentialgleichungen und Statistik eine Zombie-Apokalypse simuliert, deren Verlauf und unsere Möglichkeiten berechnet, mit dem Ergebnis, dass ein Überleben möglich wäre [Smi14]. Auf Basis dessen haben sich auch andere Autoren mit diesem Thema beschäftigt, mit Augenmerk auf die Veränderungen der Stabilität durch Bifurkation in einem solchen Modell [vgl. AJW14]. Sie kommen auch zu dem Ergebnis, dass es möglich sei, diesen Ausbruch zu überleben.

In dieser Arbeit werden auch die menschlichen Möglichkeiten analysiert, allerdings mit dem Unterschied, dass ein sehr vereinfachtes Modell der Apokalypse verwendet wird. Zwar beeinflussen in der Realität sehr viele Faktoren den Ausbruch und die Verbreitung des Parasiten, die in genannter Literatur auch zum Teil beachtet werden, dennoch können zu viele Parameter den Blick auf das Offensichtliche oder unvorstellbar aber Mögliche verschleiern, weshalb diese in Folgendem auf ein Minimum heruntergebrochen werden.

2 Material und Methoden

Um die Simulation durchzuführen, wurde als Modell eine Stadt mit circa 20597 Einwohnern verwendet. Die Bevölkerung unterteilt sich darin in vier sogenannte Spezies:

1. **Menschen:** Ganz normale Einwohner ohne besondere Fähigkeiten. Im Jäger-und-Sammler-Modell wären sie die Sammler und meiden daher den Kampf gegen Zombies.
2. **Helden:** Taffe Einwohner mit besonders ausgeprägtem Überlebensinstinkt. Sie jagen aktiv die Zombies, um sich ihr friedliches Leben zurückzuerobern.
3. **Zombies:** Verseuchte Einwohner. Der Parasit hat diese ehemals Lebenden abgetötet und steuert nun den toten Körper, um weitere Einwohner zu infizieren.
4. **Tote:** Endgültig tote Einwohner, die vom Parasiten auch nicht mehr als Wirt benutzt werden können.

Mit diesem Modell wurde nun ein Python-Skript entwickelt (`Methoden/simulation.py`), welches die Entwicklung der Bevölkerung, also die Anzahlen der Individuen der Spezies, über einen selbst gegebenen Zeitraum simuliert und als Plot visualisiert. Um dies möglichst realistisch und akkurat abzubilden, wurde die Simulation schrittweise erarbeitet:

1. **Normalbedingungen** Zuerst wurde die Population bei gewöhnlichen Bedingungen betrachtet, also das Leben ohne Pandemie. Repräsentativ kam hier die Stadt Zülrich zur Verwendung. Diese hat Ende 2021 etwa 20597 Einwohner gehabt. In dem Jahr sind 191 lebende Kinder geboren worden, 287 Menschen gestorben, 1245 zugezogen und 991 fortgezogen [Sta23]. Diese heruntergeladenen Daten sind in `Methoden/Zulrich` einsehbar und wurden für die normale Bevölkerungsentwicklung einbezogen. Dabei beeinflussen die Geburten und Todesfälle die lebende Bevölkerung, also die Menschen und Helden, prozentual, da sich bei wachsender oder sinkender Bevölkerungszahl diese allgemeinen Werte mitverändern, während die Fort- und Zuzüge mehr von der Attraktivität der Stadt abhängen, deren Einfluss hier vernachlässigt wurde.

Umgesetzt wurde dies in der Funktion `population_growth`. Sie verteilt die täglichen Fort- und Zuzüge gleichmäßig auf die beiden Spezies und erhöht deren Individuenzahl auch um den relativen täglichen Zuwachs/Abfall durch Geburten und Todesfällen. Dementsprechend steigt auch die Zahl der Toten.

2. **Keine Helden** Die Normalbedingungen korrekt simuliert, wurde nun der Einfluss der Menschen auf die Pandemie justiert. Dementsprechend erhielten die Helden eine unveränderliche Anzahl von 0, sodass anhand von Testsimulationen aus den resultierenden Plots die oben beschriebene Interaktion zwischen Menschen und Zombies korrekt implementiert werden konnte.

Die Funktion `zombie_fights` ermittelt dabei die täglichen Begegnungen der beiden Spezies. Da jeder Zombie pro Tag einen Menschen essen will, gibt es dementsprechend so viele Kämpfe wie Zombies, oder Menschen, wenn sie in Unterzahl sind. Die Kämpfe werden dann statistisch ausgefochten, sodass ein Teil der Menschen verliert und der andere den Zombies zum Opfer fällt. Hierbei werden nun 90% der Opfer verwandelt,

während der Rest aufgefressen wird.

Zudem gibt es noch die Funktion `human_kills_human`, welche einen sogenannten Chaosfaktor simulieren soll. Die Menschen sind sehr anfällig für den Stress, der durch den plötzlichen täglichen Überlebenskampf hervorgerufen wird. Das hat tödliche Auseinandersetzungen zur Folge, da Gewalt zum Alltag geworden ist. Mit einem Todesfall pro Tag soll dies umgesetzt werden, was hierbei auch Selbstmorde mit einschließt.

3. **Keine Menschen** Nun sollen die Helden eingebunden werden. Dazu wurde die Funktion `zombie_fights` angepasst, sodass nun die Begegnungen mit Zombies zufällig auf die Lebenden verteilt werden, wobei die Wahrscheinlichkeiten durch den Anteil der jeweiligen Spezies zur Gesamtlebendbevölkerung bestimmt wird. Demzufolge gibt es mehr Kämpfe mit Menschen, wenn diese den Helden zahlenmäßig überlegen sind.

Während ein Mensch mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% einen Kampf gewinnt, tun Helden dies aufgrund ihrer Fähigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 45%, was sich allerdings während des ersten Monats der Pandemie auf 70% erhöht, da sie diese Zeit benötigen, um die Schwächen der Zombies zu studieren und effiziente Strategien zu entwickeln.

Es wurden der Funktion zwei neue Optionen hinzugefügt. Einerseits wird ein Mensch automatisch zum Held, wenn er einen Kampf mit einem Zombie überlebt, also diesen besiegt. Dies rechtfertigt sich dadurch, dass er durch das Töten unwiderruflich aus seiner Komfortzone gerissen wird. Andererseits gibt es nun auch die Möglichkeit, dass ein Mensch von einem Helden gerettet wird, der zufällig in den Kampf gerät. Das hängt auch davon ab, wie groß der Anteil an Helden ist. Wird ein Mensch gerettet, gelingt es dem Helden meist, ihn zu einem Helden zu rekrutieren. Allerdings ist jeder fünfte Gerettete nicht dazu bereit und flieht dankend.

Eine Simulation hat immer den gleichen Ablauf. Zuerst werden die Spezies mit ihrer Anzahl initialisiert. Anschließend wird für jede Iteration, also jeden simulierten Tag, zuerst `population_growth` aufgerufen und dann die beiden Funktionen `zombie_fights` und `human_kills_human` in zufälliger Reihenfolge (bei Punkt 1 natürlich ausschließlich `population_growth`). Die Individuenzahlen nehmen während der Simulation rationale Werte an, da prozentuale Anstiege oder der tägliche Zuwachs an Geburten so am besten dargestellt werden können. Stirbt das letzte 'ganze' Individuum, so wird auch der Bruchteil auf 0 gesetzt.

Um den in Punkt 2 erwähnten Stressaufbau und die wachsende Gewinnwahrscheinlichkeit der Helden in Punkt 3 umzusetzen, wird die Sigmoid-Funktion verwendet.

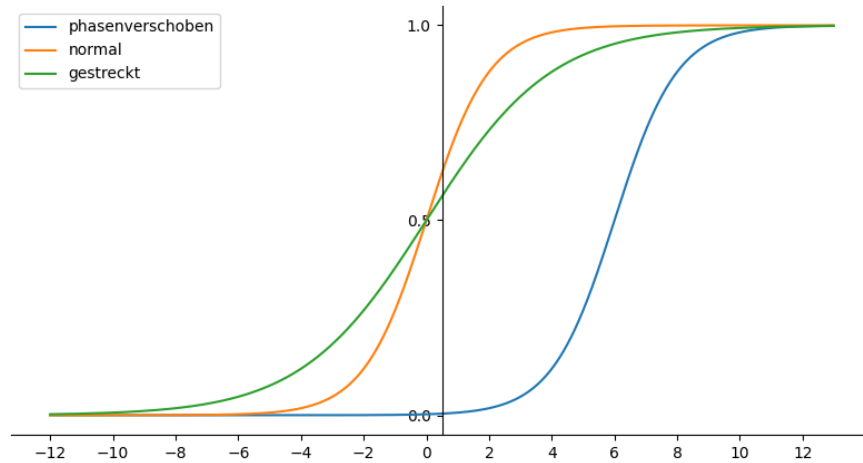


Abbildung 1: Die Sigmoid-Funktion

Die Sigmoid-Funktion hat die Eigenschaft, über einen längeren Abschnitt von 0 auf 1 zu ansteigen, was sich gut eignet, um solche nicht-lineare Entwicklungen zu simulieren. In Abbildung 1 sind beispielhaft drei verschiedene Varianten der Funktion dargestellt. Die normale wird über $\frac{1}{1+e^{-x}}$ formuliert und wechselt zwischen etwa -6 und $+6$ von 0 auf 1. Multipliziert man also x mit dem Faktor $-\frac{6}{a}$, so wechselt die Kurve zwischen $-a$ und $+a$, sodass man für $a = 12$ die gestreckte Kurve in Abbildung 1 erhält. Subtrahiert man a von x , so gelingt eine Rechts-Verschiebung entlang der x-Achse. Dies angewandt, führt dazu, dass an Tag 0 die Gewinnwahrscheinlichkeit den Wert von etwa $0,45 + 0 \cdot 0,25 = 0,45$ annimmt und ab Tag 30 etwa $0,45 + 1 \cdot 0,25 = 0,75$. Für den Stressfaktor gilt ähnliches Verfahren, nur dass die Funktion hier nach 100 Tagen, also bei $x = 100$ den Wert nahe 1 annimmt.

3 Ergebnisse

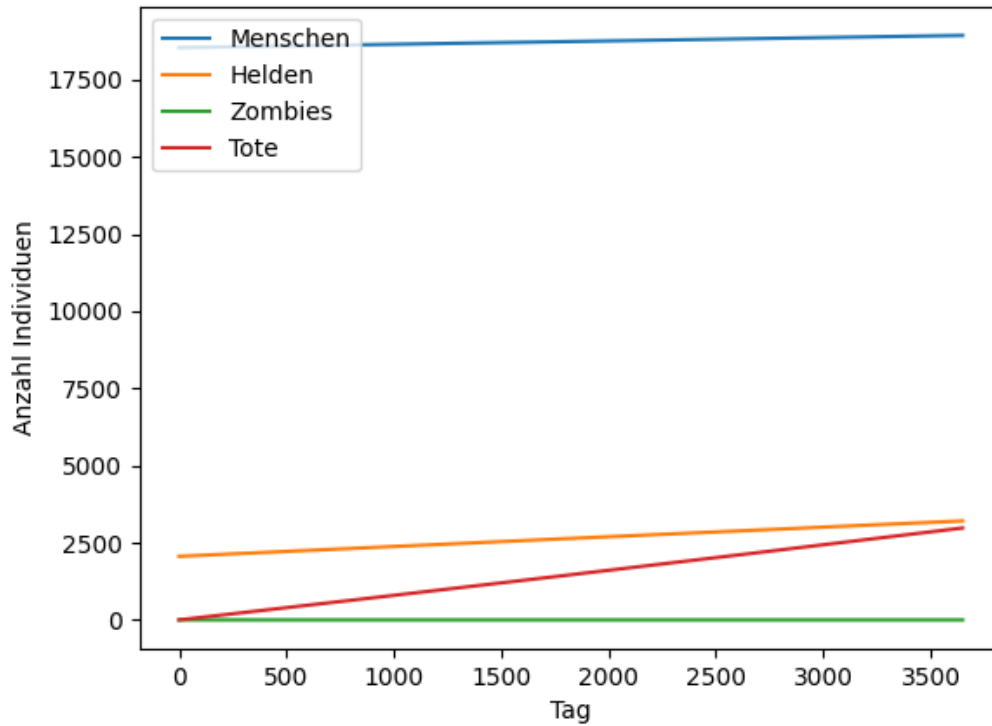


Abbildung 2: Die Simulation ohne Parasit

Abbildung 2 simuliert die Bevölkerungsentwicklung unter normalen Umständen, also ohne den Parasit. Die initiale Anzahl Menschen beträgt 18537,3 und die der Helden etwa 2059,7. Es zeichnet sich über die 10 beobachteten Jahre ein klarer Anstieg ab.

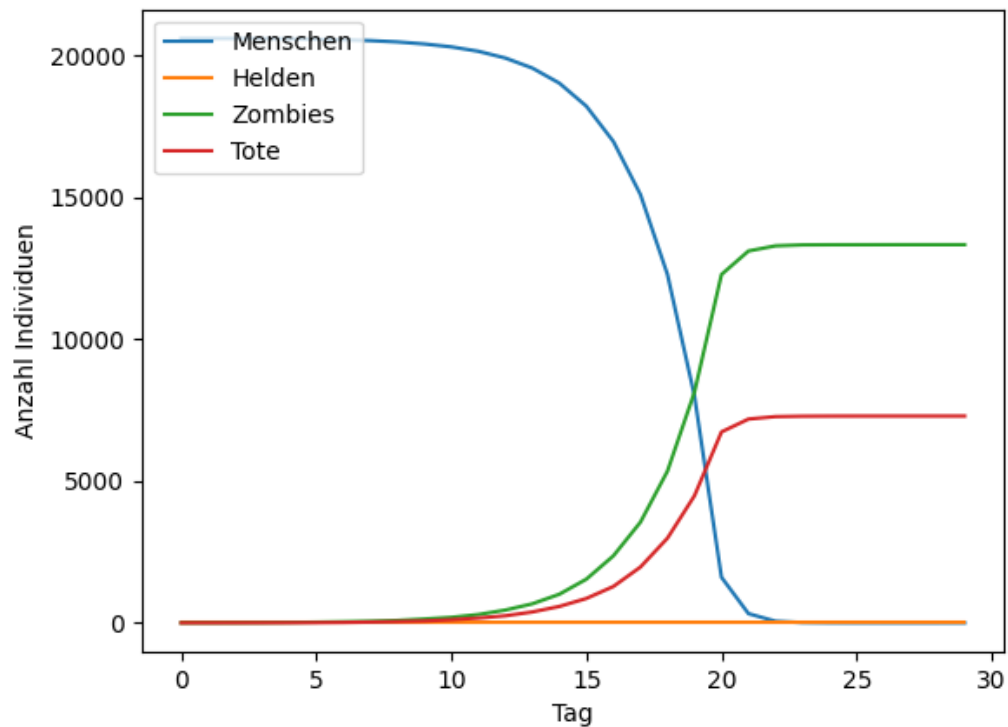


Abbildung 3: Die Simulation ohne Helden

Abbildung 3 stellt den Verlauf der Pandemie dar, wenn es keine Individuen der Helden-Spezies gäbe. Es beginnt mit 20597 Menschen und einem Zombie. Nach 10 Tagen kündigt sich die Apokalypse an. Die Anzahl an Zombies und Toten steigt exponentiell an, während die Menschen dementsprechend in großer Zahl weniger werden. Die Zombies besetzen letztendlich nach 20 Tagen die Stadt mit einer Schar von über 12000 Infizierten.

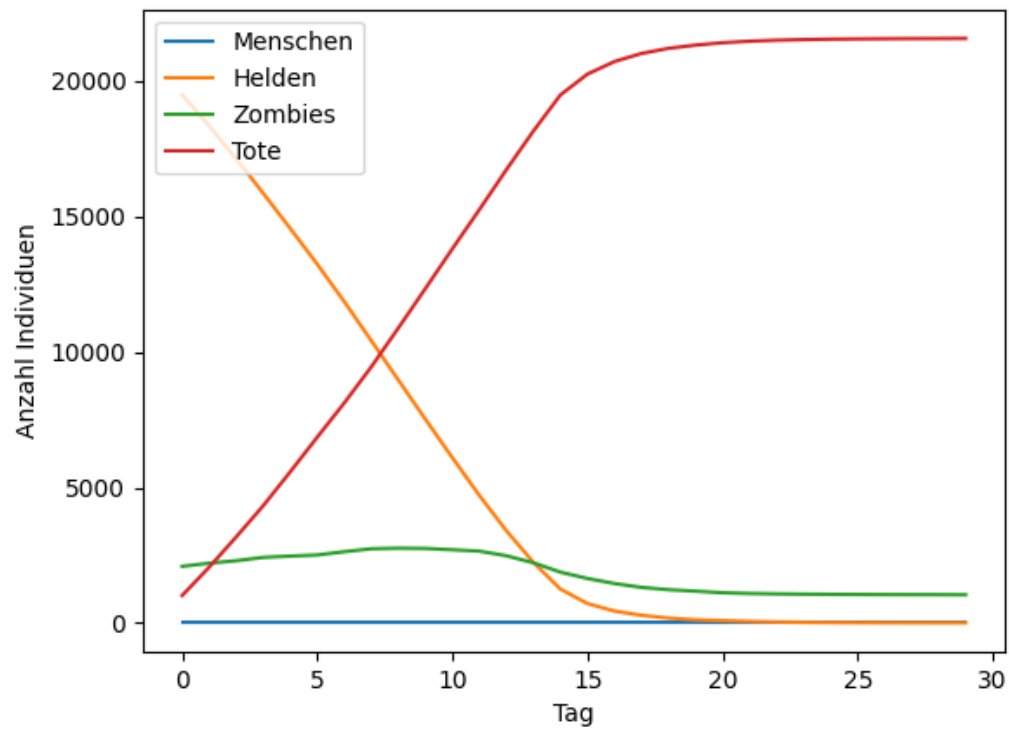


Abbildung 4: Die Simulation ohne Menschen

Abbildung 4 zeigt den Einfluss der Helden auf die Zombies. Es gibt am Anfang 20597 Helden und 2000 Zombies. Nach 20 Tagen sind alle Helden tot und die Zombies um einen Bruchteil in ihrer Anzahl verringert worden.

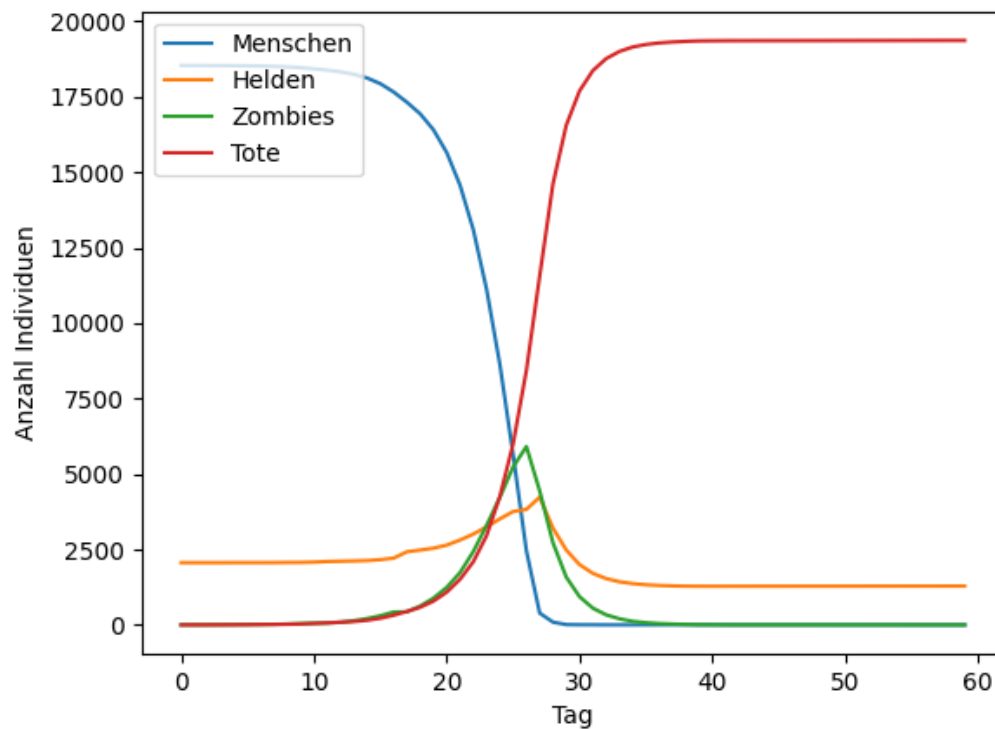


Abbildung 5: Die Simulation mit allen Spezies vertreten

Abbildung 5 visualisiert den Verlauf der gesamten modellierten Simulation. Es gibt initial 18537,3 Menschen und 2059,7 Helden, ein Zombie ist in der Stadt. Anders als in Abbildung 3 gibt es nun erst nach circa 28 Tagen keine Menschen mehr, aber davon sind etwa 1300 zu Helden geworden. Dies bildet einen Wendepunkt, da nun Helden und Zombies dezimiert und die Zombies besiegt werden.

4 Diskussion

Betrachtet man Abbildung 5, deutet das Ergebnis darauf hin, dass das Überleben einer Zombieapokalypse möglich wäre. Selbst dieses einfache Modell stimmt mit den Resultaten der aktuellen Wissenschaft überein. Dennoch sind hier einige Dinge zu beachten. Durch die wahrscheinlichkeitsbasierte Simulation bei so wenigen Parametern, können geringste Veränderungen der Startkonfiguration ein komplett anderes Ergebnis liefern, sodass selbst im Modell ohne Helden die Menschen am Anfang glücklicherweise die ersten Kämpfe gewinnen und es somit gar nicht erst zu einem richtigen Ausbruch kommt, oder die Gesamtsimulation bei etwas anderen Individuenzahlen in der Katastrophe endet. Auch ist dies hier ein Modellparasit. Es ist unklar, ob die Gewinnchancen letztendlich wirklich so verteilt sind oder die Zombies vielleicht stärker oder schwächer sind.

Trotzdem kann man aus den Simulationen einige Thesen aufstellen, die ein positives Resultat begünstigen könnten:

1. **Helden sind hilfreich:** Es empfiehlt sich, wenn ein Teil der Bevölkerung etwas davon versteht, sich im Ernstfall angemessen verteidigen zu können. Abbildung 5 wäre in der Katastrophe geendet, wenn es nicht Helden gegeben hätte, die gegen die wachsende Zahl an Zombies ankämpfte.
2. **Helden sollten hilfsbereit sein:** Zwar sind Helden an sich schon von Vorteil, dennoch sollten sie auch ein wenig selbstlos sein, so wie in diesem Modell, und ihr Leben riskieren, um Menschen vor Zombies zu retten und damit möglicherweise neue Helden zu rekrutieren. Aus Abbildung 5 kann man ableiten, dass ohne diesen dadurch resultierenden Zuwachs wohl die Zombies gewonnen hätten.
3. **Kampferfahrungen zu teilen ist wichtig:** Vergleicht man Abbildung 4 und Abbildung 5, stellt sich die Frage, wie es sein kann, dass etwa 20000 Helden gegen 2000 Zombies verlieren, während sie in Abbildung 5 am Ende sogar in Unterzahl waren. Der Grund ist die Kampferfahrung. Die Gewinnwahrscheinlichkeit der Helden steigt mit der Zeit, wie oben beschrieben, da währenddessen die Schwächen der Zombies ausgemacht werden können. Diese Lernphase dauert 30 Tage, sodass die Helden in Abbildung 5 am Ende ihre nahezu vollständige Stärke erreicht haben.

In Abbildung 4 haben sie diese noch nicht und verlieren dementsprechend. Simuliert wird hier also eher der Fall, dass die Stadt von den Zombies übernommen wurde und nun eine Armee hineingeschickt wird, um die übrigen zu erledigen, ohne die ganze Stadt zerstören zu müssen. Daher ist es also notwendig, dass die vorigen Einwohner ihre Erfahrungen möglichst schnell verbreiten, damit diese ‘Kennlernphase’ der Helden der Verstärkung übersprungen werden kann.

Auch wenn das Maßnahmen sind, die möglicherweise zum Sieg verhelfen, gibt es trotzdem Faktoren, die wohl zu einer unvermeidbaren Katastrophe führen würden. Einer wurde schon in der Einleitung beim Beschreiben des Szenarios angesprochen, nämlich ein Parasit, der über die Luft übertragen wird. In den Simulationen haben Verwandlungen immer nur bei direktem Kontakt mit den Zombies stattgefunden, bei Luftübertragung müsste es nicht einen Kampf geben und die gesamte Bevölkerung könnte zu Zombies geworden

sein, von der überstädtischen Ausbreitung abgesehen, worauf gleich näher eingegangen wird, da diese hier vernachlässigt wurde.

Ein weiterer Faktor ist die Startzahl an Infizierten. Angenommen, die Pandemie beginnt in einem Kindergarten. Rasant würden alle Kinder infiziert sein, folglich auch die Betreuer, die wahrscheinlich nicht bereit wären, gegen sie zu kämpfen. Zuletzt kämen noch die Eltern, die ihre Kinder abholen wollen. In diesem Fall beginnt alles nicht mit einem einzigen Infizierten, sondern gleich mit einer ganzen Schar, die folglich um ein Vielfaches schwerer einzudämmen wäre.

Zuletzt spielt es außerdem eine Rolle, wie die Infizierten erkannt werden können. In dem erstellten Modell werden sie durch ihre aggressive Art erkannt, andere fressen zu wollen und sie dadurch in den Kampf zu verwickeln. Aber wesentlich schwerer wäre es für die Lebenden, wenn die Zombies unerkant unter ihnen weilten, bis sich eine günstige Gelegenheit böte, sie zu verwandeln. Sie wären somit ein weniger offensichtliches Ziel, gegen das vorgegangen werden könnte. Wegen der möglichen Panik und dem Misstrauen zu anderen, müssten die Funktion `human_kills_human` und die Gewinnwahrscheinlichkeiten definitiv erweitert werden.

Was die überstädtische Ausbreitung betrifft, wurde diese in diesem Modell nicht mit eingeschlossen. Davon ausgehend, dass ein paar Zombies möglicherweise aus der Stadt in eine andere umsiedeln, könnte man die Simulation einer Stadt auf alle übertragen, sodass es am Ende eine Menge an Städten mit Lebenden und eine Menge mit Zombies gäbe. In diesem Fall erschließe sich auch ein neuer möglicher Ausgang, nämlich einer Koexistenz beider Spezies. Die Lebenden hätten mit ihrer Stadt eine Art Basis, die sie vor den Feinden von außen beschützen könnten, da der Feind von innen schließlich besiegt wurde. Problematisch beim Einbezug der Ausbreitung sind allerdings die geographischen und geologischen Verhältnisse, die überall anders sind. Diese in diesem Modell realistisch umzusetzen, ohne dabei die Einfachheit zu verletzen, wäre wohl sehr schwierig und sollte dann wohl eher in einer separaten Simulation erforscht werden. Sehr empfehlenswert wäre es vermutlich, bei erstem bekannten Kontakt mit einem Zombie, alle Inseln von der Welt abzuschotten, um so im schlimmsten Fall wenigstens dort ein Überleben zu gewährleisten.

Auch zu einer Koexistenz würde ein Heilmittel führen. Während die Lebenden nämlich durch die Kämpfe nur Verluste einstreichen, sind die Zombies durch die Verwandlung in der Lage, ihre Niederlagen zu kompensieren. Das ist ein ungleicher Zustand, der durch ein Heilmittel ausgeglichen würde, da in dem Fall auch die Lebenden diese Chance hätten. Dies setzt aber voraus, dass das Heilmittel schnell verfügbar wäre und effizient verteilt werden könne, sofern es denn eines gäbe, dass in sehr kurzer Zeit entwickelt werden könnte, um eine Rolle zu spielen. Eher denkbar ist, dass diese Art der Koexistenz die vorher Beschriebene ablöst, da dann nämlich genug Zeit vorhanden wäre, um es zu entdecken.

All diese Folgerungen und Vermutungen zusammengenommen, bleibt es weiterhin bei dem Ergebnis, dass ein Überleben möglich wäre. Ob durch Koexistenz oder Besiegen der Zombies, gibt es Maßnahmen, die ergriffen werden können, um präventiv für die besten

Chancen zu sorgen, auch wenn es letztenendes vom Zufall abhängt, wie der Parasit funktioniert, um sein eigenes Überleben zu garantieren.

Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige, dass die eingereichte Arbeit eine Originalarbeit ist und von mir ohne weitere Hilfe verfasst wurde. Die Arbeit wurde nicht geprüft, noch wurde sie widerrechtlich veröffentlicht. Die eingereichte elektronische Version ist die einzige eingereichte Version.

Unterschrift

Ort und Datum

Erklärung zu Eigentum und Urheberrecht

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis, dass die Technische Hochschule Bingen diese Arbeit Studierenden und interessierten Dritten zur Einsichtnahme zur Verfügung stellen und unter Nennung meines Namens (Franz-Eric Sill) veröffentlichen darf.

Unterschrift

Ort und Datum