

Medizinphysik und Pandemie – B. Pandemische Effekte

UNTERRICHT GESTALTEN



Medizinphysik und Pandemie – B. Pandemische Effekte

Vorwort

Es ist 11 Jahre her als Prof. Dr. Markus Buchgeister zusammen mit Wolfgang Dick das MINT-EC-Themencluster Medizinphysik gründete. Die beiden erfahrenen Experten haben wesentlichen Anteil an den innovativen Ideen und dem Aufbau eines medizinischen MINT-Netzwerkes. Sie zeigten uns was möglich ist.

Mathe- und Physiklehrer Wolfgang Dick vom Röntgen-Gymnasium Remscheid baute auch das dortige Röntgen-Museum mit auf. Prof. Markus Buchgeister von der Berliner Hochschule für Technik ist nicht nur Experte für Strahlenphysik, sondern auch ein begnadeter Didaktiker, der uns mit neuen Modellen für die Schule überraschte.

Medizin ist MINT! Das wurde den Mitgliedern des Themenclusters sofort klar und so haben wir uns in den letzten Jahren weitere, anspruchsvolle Ziele gesetzt und unsere Thematik über die Strahlenphysik auf weitere Fachgebiete ausgedehnt.

Die letzten Jahre haben die Zusammenarbeit von Lehrkräften, Firmen und Hochschulen in den Netzwerken erschwert. Treffen in den Clustergruppen waren kaum möglich, so dass es zunächst erschien, als ob alte Verbindungen nicht aufrechterhalten werden könnten. Hatten wir zu Beginn der Arbeit noch mit großem Enthusiasmus dafür gekämpft, uns mehrfach jährlich in Präsenz zu treffen, schien die Arbeit ab 2020 kaum noch möglich zu sein.

Der ungebrochene Enthusiasmus der Gruppe und die plötzliche große Relevanz der Thematik durch den Einbruch der Covid-Pandemie brachte die Teilnehmenden dazu, ganz neue Aspekte und Methoden in die Didaktik einzubeziehen - schließlich war der Schulalltag ebenfalls völlig umstrukturiert. Wie kann man Schüler*innen zum Beispiel Prinzipien der Strahlenphysik anschaulich nahebringen ohne die üblichen Präsenz-Praktika und Übungen am Gerät? Prof. Buchgeister stellte uns Unterrichtskonzepte zu diagnostischen Verfahren vor, die einerseits gesellschaftlich hochaktuell waren, sich aber auch hervorragend für den Einsatz von Modellen am heimischen Computer eigneten. Die Monte-Carlo-Simulation aus dem Fachbereich Strahlungsphysik erlaubt es, Eindringtiefe und Wirkung verschiedener Strahlensorten auf den menschlichen Körper konkret erfahrbar zu machen.

Letztlich führte die Situation anstelle eines Abbruchs der Kontakte aufgrund plötzlich zur Verfügung stehender digitaler Kommunikationswege zu neuen Interaktionsmöglichkeiten und schnelleren Entscheidungen. Die Thematik weitete sich aus und bezog nun auch andere MINT-Fächer mit ein. Das bereits 2013 gestartete Projekt sollte ursprünglich nur wenige Jahre umfassen, erwies sich aber als vitaler und fruchtbarer als anfangs angenommen. Drei neue Themenbereiche dokumentierten wir in einer umfangreichen Materialsammlung, von der hier einige ausgewählte Beispiele vorgestellt werden. Unsere Hoffnung: Die Ideen mögen im eigenen Schulumfeld weiter proliferieren und sich als fruchtbar erweisen. Zur Methodik gehören auch im wahrsten Sinne greifbare Konzepte.

So lassen sich mit handelsüblichen Geräten kostengünstige Experimente realisieren. Ein fetaler Herzschlagmonitor für den Physikunterricht der Oberstufe und ein Zuckermessgerät für das naturwissenschaftlichen Profil der Unterstufe können Grundlagen der Diagnostik vermitteln.

Im neu hinzugekommenen forensischen Bereich gelingt es durch Kriminalfälle die Neugier auf naturwissenschaftliche Analysemethoden zu lenken. Über die Berechnung von pandemischen Effekten lassen sich mathematische und speziell auch statistische Gesetzmäßigkeiten zur Ausbreitung und Bekämpfung von Viren aufzeigen.

Unsere Hoffnung ist, dass diese motivierenden Entwürfe es uns erlauben, das Kerngebiet der Medizindiagnostik anschaulich zu vermitteln. Durch Einbeziehung zahlreicher Partnerschaften und Institutionen möchten wir aufzeigen, wie spannend und vielfältig die Zusammenarbeit und Kommunikation in den MINT-Fächern sein kann. Vielen Dank an die Siemens -Stiftung für die großzügige Unterstützung.

Folgende Bände werden im Rahmen der MINT-EC-Schriftenreihe veröffentlicht:

- „Medizinphysik und Pandemie – A. Forensik“
- „Medizinphysik und Pandemie – B. Pandemische Effekte“
- „Medizinphysik und Pandemie – C. Bildgebende Verfahren“

Regina Wilkens, Clusterleitung

Einleitung

Mit Beginn der Covid-19-Pandemie etablierten sich Modellierungen und Simulationen zur Ausbreitung des Corona-Virus in den Nachrichten und wurden gesellschaftlich zum Teil kontrovers diskutiert. Maßnahmen zur Eindämmung des Virus wie Quarantäne, Kontaktnachverfolgung, Einschränkung der Mobilität, das Tragen von Masken, Handhygiene, Lüften, (Selbst-)Tests, neu eingeführte Impfungen und vieles mehr gehörten zum Alltag. Effekte, die bei der Ausbreitung von Viren und Infektionskrankheiten auftreten, wurden unmittelbar erlebbar.

Vor diesem Hintergrund sind die in diesem Band vorgestellten Unterrichtsideen und Materialien entstanden.

Die Brisanz in Bezug auf das Covid-19-Virus mag sich verringert haben, dennoch haben die Themen öffentliche Gesundheit und Schutz vor Infektionskrankheiten weiterhin eine große gesellschaftliche Bedeutung.

Die Unterrichtsideen sind nicht ausschließlich auf die Betrachtung der Ausbreitung des Corona-Virus beschränkt. Sie können vielmehr genutzt werden, um Effekte zu simulieren und demonstrieren, die allgemein bei der Ausbreitung von Viren und Infektionskrankheiten von Interesse sind.

Die Unterrichtsideen können ebenso unter dem rückblickenden Aspekt betrachtet werden, indem man überlegt, warum Maßnahmen wie beispielsweise Kontakteinschränkungen zu Beginn der Pandemie ergriffen wurden.

Wann wird aus einem kleinen, kontrollierbaren Ausbruch eines Virus ein großer, unkontrollierbarer Ausbruch? Diese Frage führt auf den sprunghaften Perkolationsübergang zwischen dem kontrollierbaren und unkontrollierbaren Zustand. Dieser kontraintuitive Effekt wird mit Hilfe von Experimenten und Simulationen für die Schüler*innen greifbar.

Mit Würfel und Papier können die Schüler*innen die Ausbreitung von Viren auf einer überschaubaren 4x4-Matrix untersuchen und Maßnahmen zur Verlangsamung der Ausbreitung und zur Eindämmung des Virus, z.B. unterschiedlich gute Strategien zum Testen auf eine Infektion mit dem Virus, im Experiment untersuchen. Hier besteht kreativer Freiraum zur Entwicklung eigener Modelle.

Mit einem Rollenspiel im Klassenraum können die Schüler*innen den Einfluss verschiedener Maßnahmen auf die Ausbreitung eines Virus untersuchen. Dieses Gemeinschaftserlebnis lebt davon, dass die Modellierung in jeder neuen Runde angepasst wird, so dass die Schüler*innen automatisch den Prozess der Modellierung mitgestalten.

Auf Basis der bekannten didaktischen Programmieroberfläche Scratch haben wir ein Programm zur rechnergestützten Simulation einer Pandemie entwickelt. Die Schüler*innen können anhand dieses Programms den Verlauf einer Pandemie unter verschiedenen Gesichtspunkten wie der Ansteckungsrate, der Krankheitsdauer und der Mobilität innerhalb der Gesellschaft, ebenso wie den Einfluss von Kontaktmaßnahmen und Impfungen untersuchen.

Ausführliche fachdidaktische Betrachtungen und ein Erfahrungsbericht zum Einsatz der vorgestellten Modelle sind im ISTRON-Band „Mathematisches Modellieren in der Praxis“ (siehe **Anhang 1**, Besser et al., Hrsg., in Vorbereitung) dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

5 Einleitung

8 Hinweise zum Umgang mit der Veröffentlichung

B. PANDEMISCHE EFFEKTE

9 B1. Perkolation

von Dr. Regina Gente

18 B2. Simulation mit Würfel und Papier

von Dr. Regina Gente

28 B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel

von Andreas Kral

32 B4. Simulation mit Scratch

von Dr. Rolf Wöste

48 Anhang 1 – Quellenverzeichnis

49 Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis

51 Impressum | Autor*innen

52 Copyright – Creative Commons (CC)

Hinweise zum Umgang mit der Veröffentlichung

Haftungsausschluss

Für den Inhalt externer Links übernehmen Autor*innen und Herausgeber keinerlei Haftung.

Screenshots, Quellen- und Urheberangaben

Einige Abbildungen in der Veröffentlichung zeigen **Screenshots** von Apps bzw. Webseiten. Diese werden im Sinne des Zitatrechts genutzt oder erfüllen die für einen urheberrechtlichen Schutz notwendige Schöpfungshöhe nicht.

Dort abgebildete Inhalte sind unter Umständen urheberrechtlich geschützt. Die freie Creative Commons Lizenz der Veröffentlichung erstreckt sich nicht auf diese.

Screenshots sind unter dem Bild als solche gekennzeichnet und in **Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis** mit Quellen- und Urheberangaben gelistet.

Unter den Bildunterschriften der Screenshots finden Sie Quellenangaben zum Lizenzigentümer und der verwendeten App bzw. Webseiten. Diese sind über den hinterlegten Link (fett gedruckt und unterstrichen) zu erreichen.

Legende

(Quelle: Lizenzigentümer, **Link zu der entsprechenden App oder Webseite**, s. **Screenshot**)

Für alle übrigen Abbildungen finden sich die Angaben zu Quelle und Urheber ebenso in **Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis**.

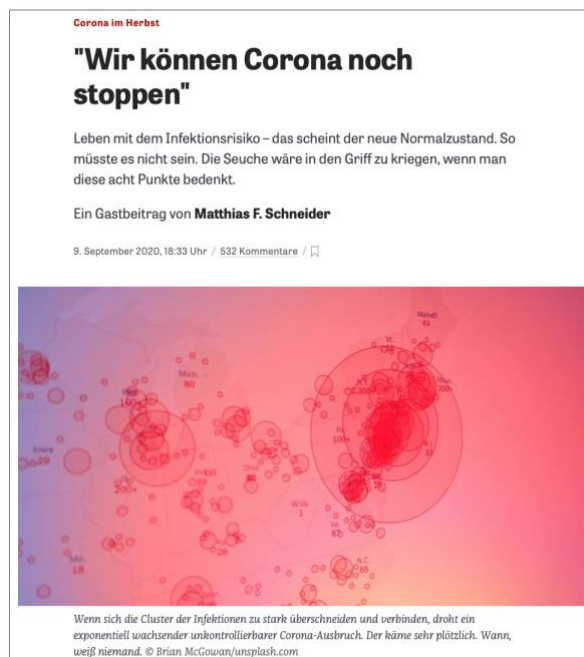
B1. Perkolation

Dieser Unterrichtsvorschlag ist im Herbst 2020 entstanden. Zu diesem Zeitpunkt gab es noch keine zugelassene Impfung gegen Corona, und die zweite Infektionswelle begann sich aufzubauen. Er ist ebenso im Physikjournal der Deutschen physikalischen Gesellschaft (DPG) veröffentlicht (siehe Gente). Hier liegt der Fokus darauf, Material zur Umsetzung des Unterrichtsvorschlags bereitzustellen. Vielfältige Ideen und Anregung zur Vermittlung des Themas "Perkolation" sind im Artikel von Adler et. al. zu finden.

Einstieg

Einstiegsfrage: Welche Begriffe sind in dem Zeitungsausschnitt unbekannt?

Es ist zu erwarten, dass hier der Begriff Perkolationsübergang bzw. Phasenübergang genannt wird. Auf den Perkolationsübergang wird im Verlauf des Unterrichtsvorschlags hingearbeitet.



Statt nur zu überlegen, wie ein Alltag mit Corona aussehen kann, sollten wir das Virus weiter aktiv zurückdrängen, schreibt der Physiker Matthias F. Schneider. Das sei durchaus noch möglich. Acht Aspekte aus Physik und Mathematik, die dabei wichtig sind.

1. Ein Ausbruch kommt ohne Ansage

Die vielleicht wichtigste Frage derzeit ist: Wann entwickelt sich aus einzelnen Neuinfektionen, die sich nachverfolgen lassen, ein unkontrollierbarer Corona-Ausbruch? Um Antworten darauf zu finden, stellen sich Physikerinnen und Physiker die Situation als eine Art Phasenübergang (oder Perkolationsübergang) vor. Der Virologe Christian Drosten hat das Prinzip kürzlich in seinem Podcast beschrieben. Was bedeutet das?

Abbildung B1.01 und B1.02 Ausschnitt eines Zeitungsartikels von Zeit Online, der zum Einstieg verwendet wird.

(Quelle: Matthias F. Schneider, [ZEIT ONLINE](#), s. [Screenshots](#))

Um später klären zu können, was ein Perkolationsübergang ist, und welche Bedeutung dieser in Bezug auf die Ausbreitung des Corona-Virus hat, müssen zunächst die Grundlagen der Perkolation erarbeitet werden.

Informationen zu Grundlagen

- Wir verwenden ein Quadratgitter.
- Kreuzungspunkte werden „Knoten“ genannt.
- Verbindungen zwischen Knoten werden als „Kanten“ bezeichnet.
- „Besetzte“ Knoten werden durch einen farbig ausgemalten Kreis gekennzeichnet
- Die Kanten, die besetzte Knoten verbinden, werden farbig markiert.
- Einen Verbund von Knoten bezeichnet man als „Cluster“.

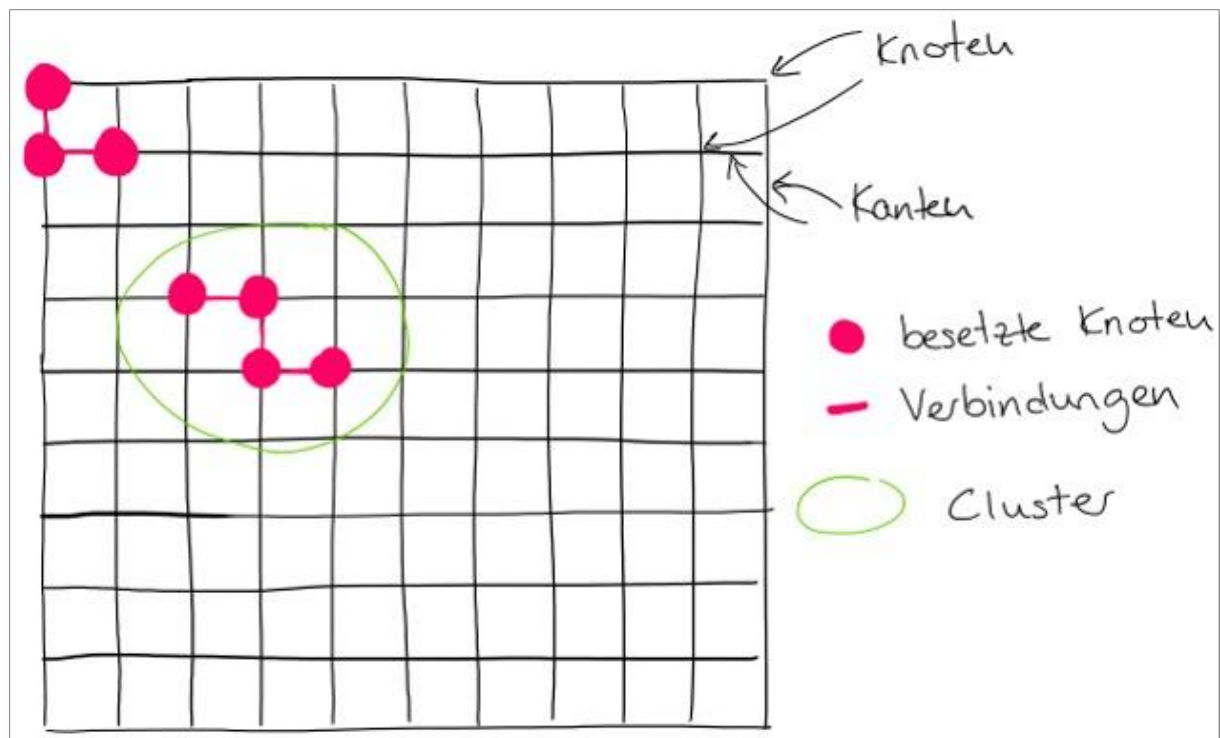


Abbildung B1.03 Graphische Veranschaulichung der Grundbegriffe zur Perkolation auf einem Quadratgitter

Arbeitsauftrag

Stelle Verbindungen vom Perkolationsmodell zur Ausbreitung des Corona-Virus her!

Mögliche Lösungen

- Besetzte Knoten symbolisieren infizierte Personen.
- Verbindungen stellen Ansteckungswege dar.

Hintergrundinformationen für die Simulation auf dem Quadratgitter

- Die Besetzungswahrscheinlichkeit, die im Experiment durch Münzwurf simuliert wird, beträgt $p = 0,5$.
- Die kritische Wahrscheinlichkeit, ab der immer ein perkolierender Cluster entsteht, beträgt $p_c = 0,59$ in dieser Anordnung. Bei dieser Wahrscheinlichkeit findet der Perkolationssprung von (fast) keine perkolierende Cluster vorhanden dazu statt, dass (fast) immer perkolierende Cluster auftreten.
- Es ist unwahrscheinlich, dass ein perkolierender Cluster entsteht, da die Besetzungswahrscheinlichkeit etwas unterhalb der kritischen Wahrscheinlichkeit liegt.
- Cluster verschiedener Größen sind zu erwarten.
- Methodisch bietet es sich an, das Experiment in einer Gruppenexploration auf einem in Streifen zerschnittenen Quadratgitter durchzuführen, und ein Foto davon für die weitere Arbeit zu projizieren. Vertikale Verbindungen müssen noch eingezeichnet werden.

Simulation auf dem Quadratgitter

- Es wird eine Entscheidungsregel benötigt, wann ein Knoten als besetzt markiert wird.
- Der Zufall entscheidet!
- Wir werfen eine Münze
 - Kopf: besetzt
 - Zahl: frei
- Besetzte Knoten werden ausgemalt.

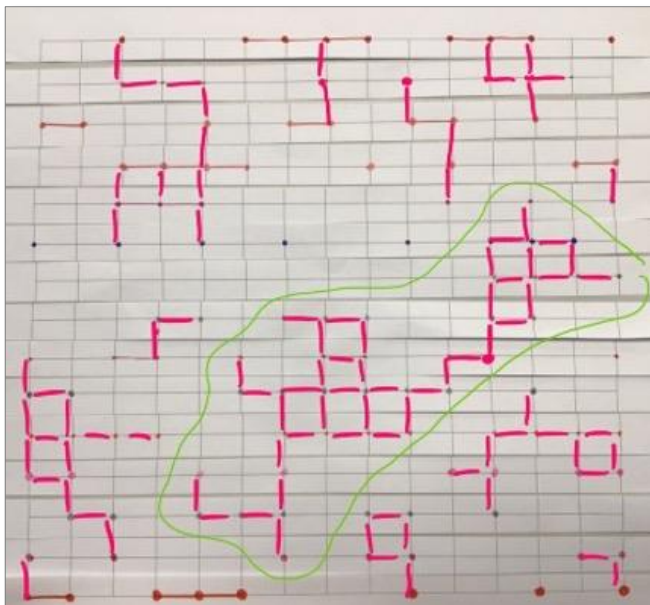


Abbildung B1.04 Beispiel zur Besetzung eines Quadratgitters mit Hilfe einer Gruppenexploration. Der größte Cluster ist grün umrandet.

Mögliche Interpretationen des Ergebnisses der Simulation

- Große Cluster können Ansteckungswege zwischen zwei unbekanntenen Personen darstellen.
- Begrenzte Cluster können abgegrenzt und nachverfolgt werden.
- Grenzen des Modells:
 - Man besitzt mehr als vier Kontakte.
 - Unterschiedliche Menschen haben verschiedene Anzahlen von Kontakten.
 - Vorhandene Kontakte ändern sich zeitlich.
- Zwischenfazit: Das Modell liefert uns Ideen, aber keine exakten Zahlenwerte!

Arbeitsauftrag

Ein Cluster, der die linke Seite mit der rechten Seite verbindet, wird perkolierender Cluster („Riesen-Cluster“) genannt.

Sucht einen perkolierenden Cluster!

Ziel

Es soll erkannt werden, dass noch kein perkolierender Cluster vorliegt, aber auch nicht mehr viele Verbindungen fehlen, bis ein solcher Cluster entstanden ist. Fehlende Verbindungen sind in blau eingezeichnet.

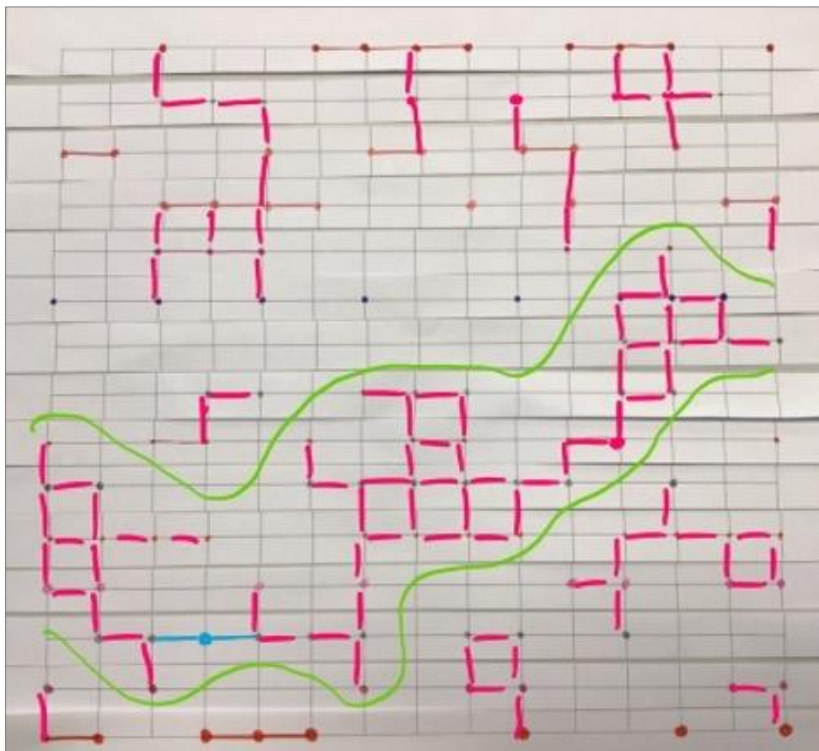


Abbildung B1.05 Die fehlende Verbindung, damit ein perkolierender Cluster entsteht, ist blau eingezeichnet.

Möglicher Rückbezug von perkolierenden Clustern zur Virusverbreitung

- Perkolierende Cluster
 - verbinden viele Menschen,
 - können überregionale Verbindungen schaffen,
 - sind schwer abzugrenzen und nachzuverfolgen,
 - schaffen Verbindungen zwischen kleineren Clustern.
- Zwischenfazit: Perkolierende Cluster von Infizierten sollten vermieden werden!

Aus den bisherigen Experimenten entsteht folgende Fragestellung:
Wann entstehen perkolierende Cluster?

Diese mit weiteren Würfelexperimenten zu untersuchen wäre sehr zeitaufwändig, so dass im weiteren Verlauf zunächst ein physikalisches Experiment und anschließend zur genaueren Analyse computergestützte Simulationen eingesetzt werden.

Neue Simulation mit Hilfe eines physikalischen Experiments

Aufbau

- Leitende und nicht-leitende Kügelchen sind in einen Hohlraum in einem Bilderrahmen eingefüllt.
- Links und rechts im Hohlraum sind Elektroden aus Kupferklebeband angebracht.
- An die Elektroden wird eine LED angeschlossen.
- Als Spannungsquelle wird eine 9V-Blockbatterie verwendet.
- Ein Schutzwiderstand, der der LED vorangeschaltet ist, verhindert das Durchbrennen bei guten Kontakten.

Hinweise zur Durchführung

- Der Kontakt muss durch leichten Druck hergestellt werden, z.B. durch Schraubzwingen am Glasrahmen. Desweiteren lässt sich der Kontakt zwischen den leitfähigen Kügelchen deutlich verbessern, wenn im Stromkreis die Batterie kurzzeitig (!) kurzgeschlossen wird.
- Die Kontakte sind bei einer nur zweidimensionalen Anordnung der Kügelchen zu schlecht. Bessere Ergebnisse ergeben sich, wenn die Kügelchen in zwei Schichten liegen.
- Eine Mischung aus Glasperlen und Putzkügelchen aus Edelstahl lieferte die besten Ergebnisse.
- Es werden die Mischungsverhältnisse 2 Teile Glasperlen und 1 Teil Putzkügelchen sowie 1 Teil Glasperlen und 2 Teile Putzkügelchen eingefüllt.

Möglicher Rückbezug zur Corona-Pandemie

- leitende Kügelchen: Infizierte
- Nicht-leitende Kügelchen: Gesunde
- leuchtende LED: perkolierender Cluster ist entstanden

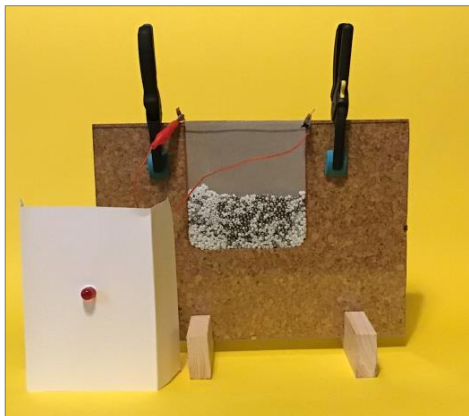


Abbildung B1.06 Aufbau des Experiments

(Quelle: Dr. Regina Gente, [YouTube](#), s. [Screenshot](#))

Mischungsverhältnisse

- 2 Teile Glasperlen
- 1 Teil Metallkügelchen
- Auch bei vielfacher Durchmischung: keine perkolierenden Cluster
- Corona ist kontrollierbar

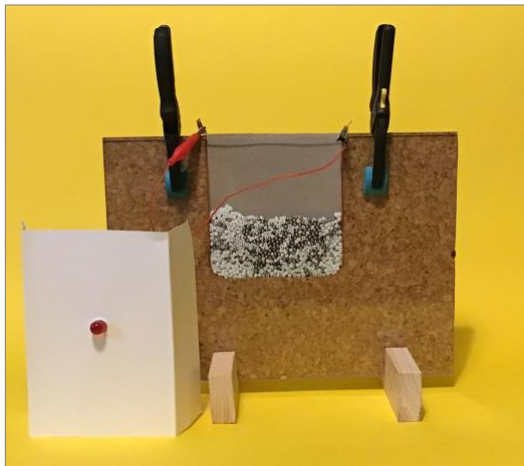


Abbildung B1.07 Demonstration des Experiments bei zwei Teilen Glasperlen und einem Teil Metallkügelchen: Die LED leuchtet auch bei mehrfachem Durchmischen nicht.

(Quelle: Dr. Regina Gente, [YouTube](#), s. [Screenshot](#))

Mischungsverhältnisse

- 1 Teil Glasperlen
- 2 Teile Metallkügelchen
- Auch bei Durchmischung (fast) immer perkolierende Cluster:
- Kontrollverlust droht

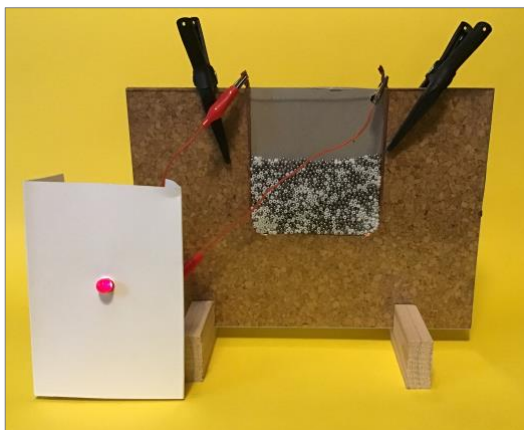


Abbildung B1.08 Demonstration des Experiments bei einem Teil Glasperlen und zwei Teilen Metallkügelchen: Die LED leuchtet bei mehrfachem Durchmischen (fast) dauerhaft.

(Quelle: Dr. Regina Gente, [YouTube](#), s. [Screenshot](#))

Einsatz einer Simulation

Untersucht genauer, wann perkolierende Cluster auftreten. Verwendet dafür die frei verfügbare Simulation auf einem Quadratgitter unter:

<https://pythonyx.pythonanywhere.com/percolation>

Erstellt ein 10-mal-10-Gitter und variiert die Besetzungswahrscheinlichkeit zwischen 0.1 und 0.9. Führt für jede Besetzungswahrscheinlichkeit 10 Simulationen durch. Zählt hierbei, wie oft bei welcher Besetzungswahrscheinlichkeit ein perkolierender Cluster entstanden ist.

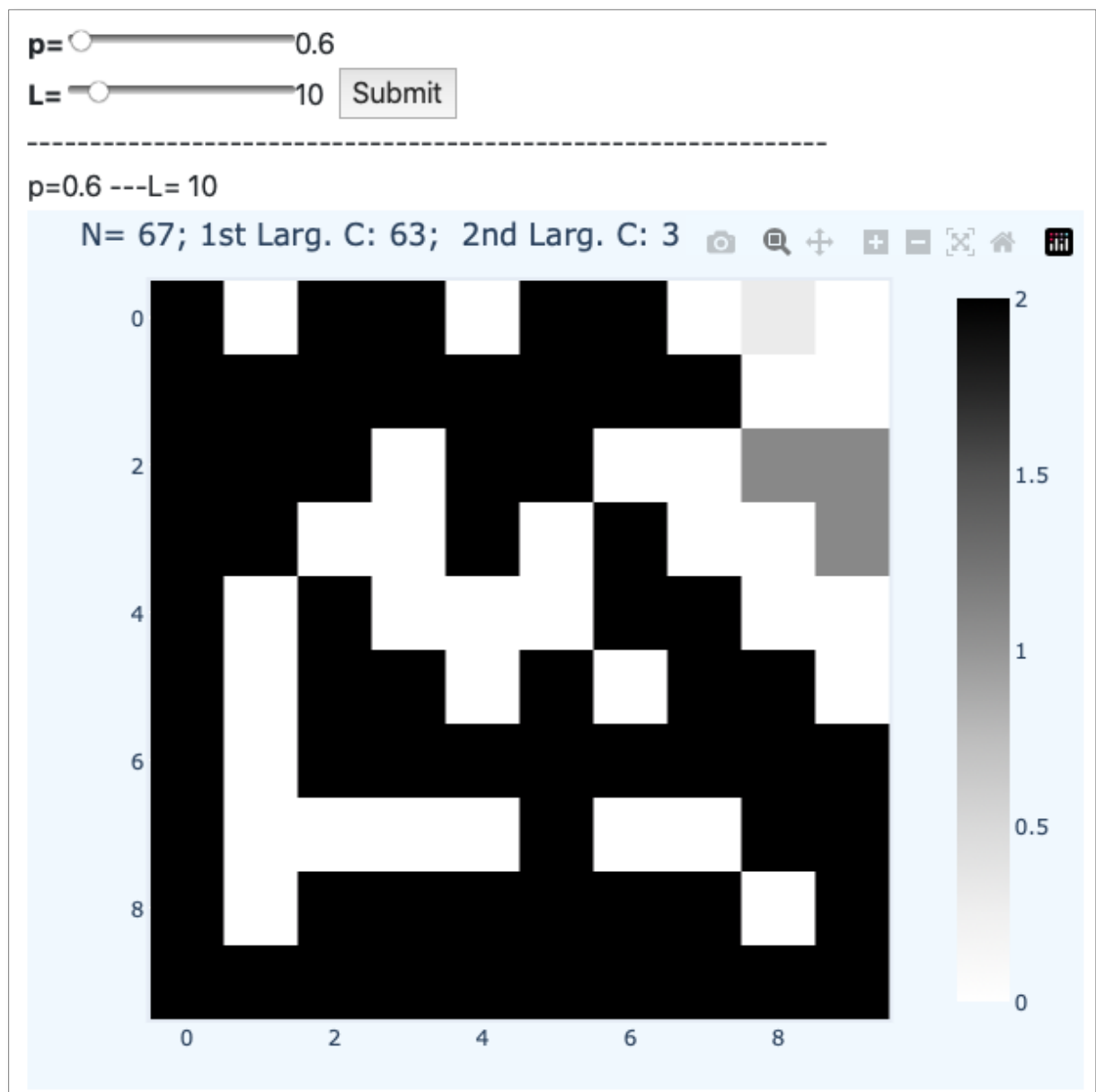


Abbildung B1.09 Screenshot der Simulation auf einem 10-mal-10-Gitter mit einer Besetzungswahrscheinlichkeit von 0,6

(Quelle: Pythonyx, pythonyx.pythonanywhere.com/percolation, s. [Screenshot](#))

Mögliche Ergebnisse

Besetzungswahrscheinlichkeit p	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Anzahl der perkolierenden Cluster bei 10 Durchführungen	0	0	0	0	1	6	10	10	10

Abbildung B1.10 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zur Untersuchung, bei welchen Besetzungswahrscheinlichkeiten perkolierende Cluster entstehen.

Graphische Darstellung

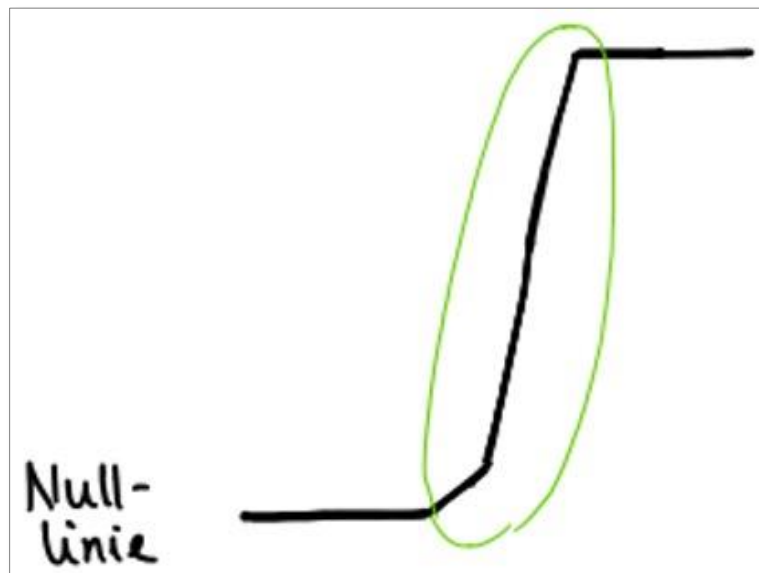


Abbildung B1.11 Graphische Umsetzung der Werte aus der Tabelle. Der Perkulationsübergang ist grün markiert.

Aufgetragen ist die Anzahl der Versuche, in denen perkolierende Cluster aufgetreten sind, gegen die verwendete Besetzungswahrscheinlichkeit

Grün ist der Perkulationsübergang markiert: Wird die kritische Besetzungswahrscheinlichkeit überschritten, so treten (fast) immer perkolierende Cluster auf.

Interpretation

- Das sprunghafte Auftreten der perkolierenden Cluster wird identifiziert als der Perkulationsübergang.
- Erkenntnis: Wir müssen rechtzeitig handeln, damit der Perkulationsübergang nicht erreicht wird, aber wir können handeln und die Virusausbreitung durch Gegenmaßnahmen erschweren.

B2. Simulation mit Würfel und Papier

Simulation mit einem Würfelmodell auf Papier

Das Würfelmodell wurde im Rahmen der Corona-Pandemie entwickelt, kann aber losgelöst von diesem Kontext auch für die Simulation der Ausbreitung anderer Infektionskrankheiten verwendet werden.

Das Modell zielt darauf, die folgenden, schrittweise komplexer werdenden Modellierungen und Simulationen durchzuführen (siehe Anleitungen, die auf den nächsten Seiten folgen):

- die ungebremste Ausbreitung eines Virus innerhalb einer Gruppe
- die Verlangsamung der Ausbreitung eines Virus durch Gegenmaßnahmen
- der Einsatz von Teststrategien
- der Einsatz von Teststrategien und Quarantäne („Test-Trace-Isolate“)

Dem Würfelmodell liegen aus didaktischen Gründen viele vereinfachende Annahmen zu Grunde (siehe dazu auch im [Anhang 1](#)), aus denen sich Grenzen des Modells ergeben:

- Wahrscheinlichkeiten, die beim Würfeln verwendet werden, geben keine realen Ansteckungswahrscheinlichkeiten wieder.
- Starke Begrenzung der Anzahl der Kontaktpersonen auf maximal 8 Personen
- Geringe Population mit nur 16 Mitgliedern
- Kontaktpersonen sind statisch, d.h. wechseln nicht mit der Zeit.
- Individuelle Faktoren, die das Ansteckungsrisiko beeinflussen, werden nicht berücksichtigt, d.h. für alle Personen liegt dieselbe Ansteckungswahrscheinlichkeit vor.
- Die Ansteckungswahrscheinlichkeit ist unabhängig davon, wie viele benachbarte Felder bereits als infiziert markiert sind.
- Eine Ansteckung über Aerosole, d.h. über benachbarte Personen hinaus, wird hier nicht abgebildet.
- Maßnahmen zur Verhinderung einer Ansteckung müssen nicht stochastisch unabhängig sein.
- Infizierte Personen genesen nicht während der Simulation und Quarantänen werden nicht aufgehoben.

Ungebremste Ausbreitung ohne Gegenmaßnahmen

- Simuliere die ungebremste Ausbreitung eines Virus innerhalb einer Personengruppe.
- Beschreibe, wie man die Ausbreitung eines weniger (oder mehr) ansteckenden Virus simulieren könnte.
- Nenne Grenzen, die das verwendete Modell im Vergleich zur Realität aufweist.

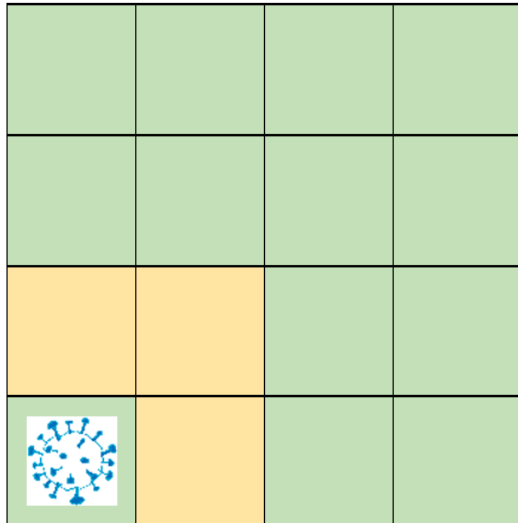


Abbildung B2.01 Ausgangssituation. Die benachbarten Felder eines als „infiziert“ markierten Feldes sind gelb markiert.

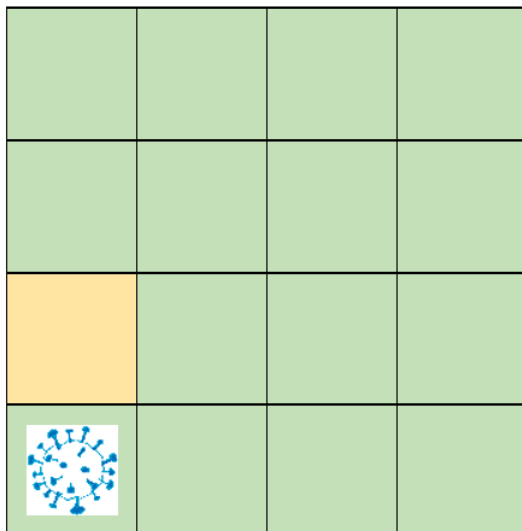


Abbildung B2.02 Wählen eines benachbarten Feldes (gelb markiert).

Wir arbeiten in dieser Simulation mit folgender Ansteckungsregel. Jedes Würfeln steht für einen Kontakt. Es wird gewürfelt, bis eine gerade Zahl fällt, und damit eine Ansteckung erfolgt ist.


5			
			

Abbildung B2.03 Die Anzahl der benötigten Würfe bis eine gerade Zahl gefallen ist, wird im Feld notiert.

Gehe nun für alle anderen Felder, die an ein als infiziert markiertes Feld grenzen, ebenso vor.


3	1	1	2
1	1	9	2
5	1	1	1
	1	2	3

Abbildung B2.04 So sieht das Feld z.B. am Ende aus.

Die Summe aller benötigten Würfe kann als Maß für die “Ausbreitungsgeschwindigkeit” des Virus verwendet werden: wurden wenig Würfe benötigt, hat sich das Virus schneller ausgebreitet als wenn mehr Würfe notwendig waren, bis alle Felder als infiziert markiert sind.

Verlangsamung der Ausbreitung eines Virus durch Gegenmaßnahmen

- Gegenmaßnahmen zur Ausbreitung eines Virus sollen die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung verringern. Um dies zu simulieren, wird die Ansteckungsregel verändert.
- Im Alltag mit dem Corona-Virus werden viele verschiedene Maßnahmen (z.B. AHA+L-Regeln) miteinander kombiniert. Simuliere zwei zeitgleich verwendete Maßnahmen, indem du mit zwei Würfeln arbeitest. Eine Person steckt sich hier nur an, wenn beide verwendeten Gegenmaßnahmen gleichzeitig versagen.
- Vergleiche die „Ausbreitungsgeschwindigkeit“ mit der sich das Virus
 - ungebremst,
 - mit einer Gegenmaßnahme,
 - mit zwei Gegenmaßnahmenausbreitet.
- Nenne mögliche Grenzen des Modells.

Simulation einer Maßnahme

Die Wahrscheinlichkeit für eine Ansteckung wird gesenkt, indem eine Ansteckung nur erfolgt, wenn „2“ oder „4“ geworfen werden.

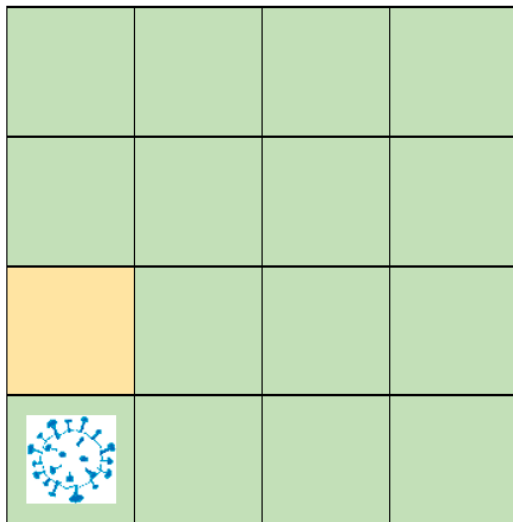


Abbildung B2.05 Wählen eines benachbarten Feldes (gelb markiert).


6			
			

Abbildung B2.06 Die Anzahl der benötigten Würfel wird notiert. Für alle übrigen Felder wird ebenso verfahren, sobald sie an ein Feld angrenzen, das eine infizierte Person symbolisiert.


4	4	2	2
1	4	1	7
6	1	1	7
	3	1	10

Abbildung B2.07 So kann das Feld z.B. am Ende aussehen.

Teststrategien und Quarantäne

Testen und Isolieren

- Die Ausbreitung eines Virus soll nicht nur verlangsamt, sondern möglichst auch gestoppt werden. Hilfsmittel dafür können Tests sein, mit denen man feststellt, ob eine Person infiziert ist. Wird die Infektion bei einer Person festgestellt, so wird für diese eine Quarantäne angeordnet. Führe die Simulation durch. Vergleiche innerhalb der Klasse!

Es wird zunächst für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt.

- Fällt eine „1“ (analog „1“ oder „3“ für bessere Teststrategie) so wird die Person isoliert und es kann keine Ansteckung zu einem benachbarten Feld erfolgen.
- Fällt keine „1“, wird für ein benachbartes Feld gewürfelt. Fällt eine gerade Zahl, so erfolgt eine Ansteckung.

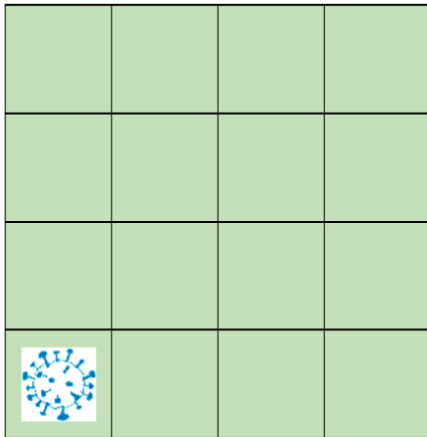


Abbildung B2.11 Es wird zunächst für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt.

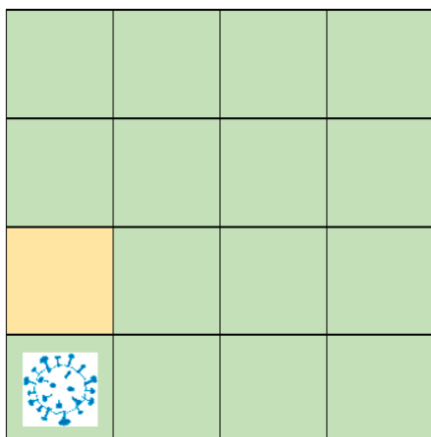


Abbildung B2.12 Es ist keine „1“ gefallen. Nun wird für ein benachbartes Feld (gelb markiert) gewürfelt.

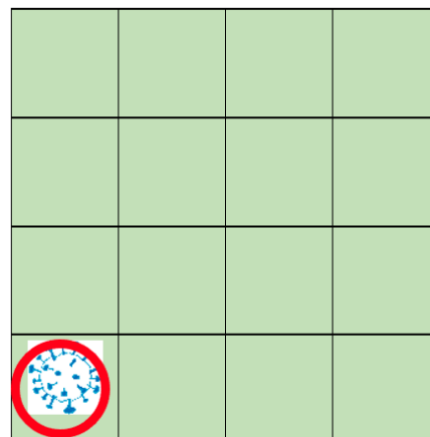


Abbildung B2.13 Es ist eine 1 gefallen, Person wird isoliert, und die Ausbreitung ist sofort zu Beginn gestoppt.

Fällt eine gerade Zahl, ist eine Ansteckung erfolgt, fällt keine gerade Zahl, wird erneut für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt, ob getestet und isoliert wird.

So wird weiter für als „infiziert“ markierte und benachbarte Felder vorgegangen, bis entweder alle Felder als „infiziert“ markiert sind, oder die Ausbreitung gestoppt wurde.


	3	1	4
3	3	1	4
1	1	1	1
	2	1	2

Abbildung B2.14 Die Ausbreitung ist gestoppt. Das Feld links oben wird vom Virus nicht mehr erreicht.

Testen, Isolieren und Kontaktnachverfolgung

- Eine positiv getestete Person kann vor dem Test bereits Kontaktpersonen angesteckt haben. Deswegen wird die Quarantäne auf die Kontaktpersonen erweitert. Dieses Verfahren wird auch als „Test-Trace-Isolate“ bezeichnet (testen, nachverfolgen, isolieren). Führe mit Hilfe der untenstehenden Anleitung die Simulation durch. Vergleiche das Ergebnis mit dem Ergebnis der vorherigen Simulation zum Testen und Isolieren.

Es wird zunächst für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt.

- Fällt eine „1“ (analog „1“ oder „3“ für bessere Teststrategie) so wird die Person isoliert und es kann keine Ansteckung zu einem benachbarten Feld erfolgen. Auf Grund der Kontaktnachverfolgung werden alle direkt benachbarten Kontaktpersonen in Quarantäne geschickt.
- Fällt keine „1“, wird für ein benachbartes Feld gewürfelt. Fällt eine gerade Zahl, so erfolgt eine Ansteckung.

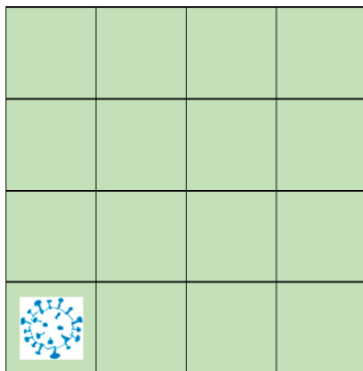


Abbildung B2.15 Es wird zunächst für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt.

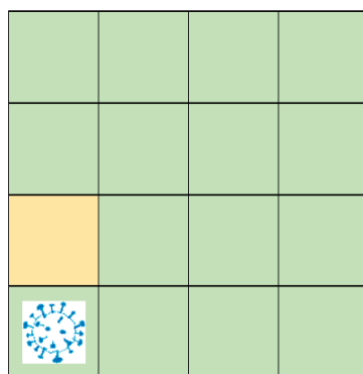


Abbildung B2.16 Es ist keine „1“ gefallen. Nun wird für ein benachbartes Feld (gelb markiert) gewürfelt.

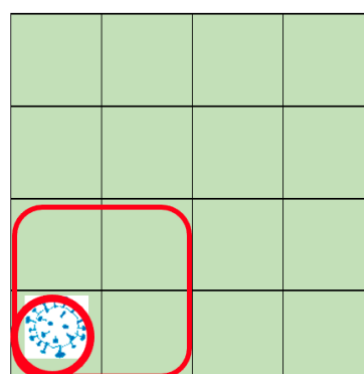


Abbildung B2.17 Es ist eine 1 gefallen, die Person wird isoliert und benachbarte Personen werden in Quarantäne geschickt. Die Ausbreitung wurde zu Beginn gestoppt.

Fällt eine gerade Zahl, ist eine Ansteckung erfolgt, fällt keine gerade Zahl, wird erneut für das als „infiziert“ markierte Feld gewürfelt, ob getestet und isoliert wird sowie Quarantänen verhängt werden.

So wird weiter für als „infiziert“ markierte und benachbarte Felder vorgegangen, bis entweder alle Felder als „infiziert“ markiert sind, oder die Ausbreitung gestoppt wurde.

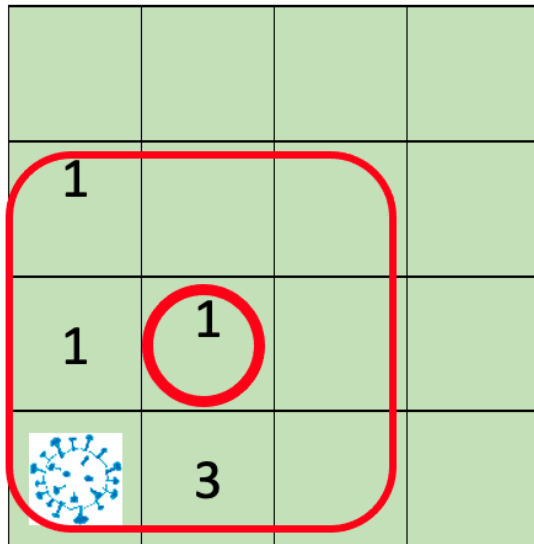


Abbildung B2.18 Die Ausbreitung ist gestoppt.

Ausführliche fachdidaktische Betrachtungen und ein Erfahrungsbericht zum Einsatz der vorgestellten Modelle sind im ISTRON-Band „Mathematisches Modellieren in der Praxis“ (siehe [Anhang 1](#), Besser et al., Hrsg., in Vorbereitung) dargestellt.

B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel

Zielgruppe – Sek I

Das interaktive Rollenspiel wurde im Rahmen der Corona-Pandemie entwickelt, kann aber losgelöst von diesem Kontext auch für die Simulation der Ausbreitung anderer Infektionskrankheiten verwendet werden.

Das Modell zielt darauf, die folgenden, schrittweise komplexer werdenden Modellierungen und Simulationen durchzuführen:

- die ungebremste Ausbreitung eines Virus innerhalb einer Gruppe
- die Verlangsamung der Ausbreitung eines Virus durch Gegenmaßnahmen
- der Einsatz von Teststrategien und Quarantäne („Test-Trace-Isolate“)

Ausführliche fachdidaktische Betrachtungen und ein Erfahrungsbericht zum Einsatz der vorgestellten Modelle sind im ISTRON-Band „Mathematisches Modellieren in der Praxis“ (siehe [Anhang 1](#), Besser et al., Hrsg., in Vorbereitung) dargestellt.

Grundidee und Grenzen des Rollenspiels

Das Rollenspiel wird gemeinsam mit einer ganzen Klasse gespielt. Alle Schüler*innen erhalten jeweils einen 6er-Würfel. Eine oder mehrere Personen werden zu Beginn als infiziert festgelegt. Die Infizierten stellen sich hin und werden im Klassengeschehen dadurch als solche erkannt. Das Spiel ist rundenbasiert. Alle würfeln gleichzeitig. Die zu Beginn infizierten Personen nennen laut den eigenen Würfelwurf. Jeder, der die gleiche Zahl gewürfelt hat, wurde angesteckt und stellt sich als infizierte Person hin.

Wer nun die gleiche Zahl wie eine der infizierten Personen würfelt, hat sich bei einer ungebremsten Virusausbreitung sofort infiziert und stellt sich für die nächste Runde hin. Neu Infizierte können in der nächsten Runde andere infizieren. Das Rollenspiel endet, wenn alle infiziert sind. Damit wird die Ausbreitung des Infektionsgeschehens ausgehend von wenigen Infizierten in einem einfachen Modell simuliert. Mit diversen Erweiterungen lässt sich das Modell verfeinern und der Einfluss unterschiedlicher Gegenmaßnahmen untersuchen. Dabei sollte das Modell für die Lerngruppe angemessen zunehmend komplexer gestaltet werden.

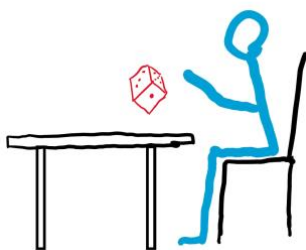


Abbildung B3.01 noch nicht Infizierte

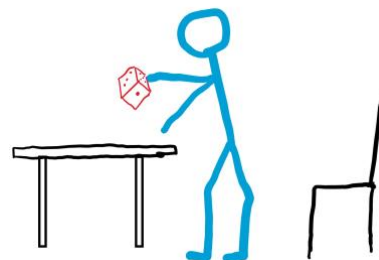


Abbildung B3.02 Infizierte

B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel

Dem Rollenspiel liegen viele vereinfachende Annahmen zu Grunde (siehe dazu auch Besser et al., Hrsg., in Vorbereitung), aus denen sich Grenzen des Modells ergeben.

- Es liegt eine kleine Population in Klassenstärke vor. Die Simulation dient eher der Veranschaulichung einer Virusausbreitung im Modell als einer statistisch validen Untersuchung.
- Individuelle Faktoren, die das Ansteckungsrisiko beeinflussen, werden nicht berücksichtigt, d.h. für alle Personen liegt dieselbe Ansteckungswahrscheinlichkeit vor.
- Wahrscheinlichkeiten, die beim Würfeln verwendet werden, geben keine realen Ansteckungswahrscheinlichkeiten wieder.
- Maßnahmen zur Verhinderung einer Ansteckung müssen nicht stochastisch unabhängig sein.
- Infizierte Personen genesen nicht während der Simulation und Quarantänen werden nicht aufgehoben.

Arbeitsaufträge und Beispiele

Ungebremste Ausbreitung ohne Gegenmaßnahmen

Gespielt wird solange, bis sich alle infiziert haben.

- Simuliert in eurer Klasse die ungebremste Ausbreitung eines Virus und erläutert, wie es im durchgeführten Rollenspiel dazu kommt, dass der Virus sich so rasant ausbreiten kann.
- Nennt Grenzen, die das verwendete Modell im Vergleich zur Realität aufweist.
- Beschreibt, welche Maßnahmen man ergreifen könnte, um die Ausbreitung eines Virus zu verringern, und wie man diese Maßnahmen in der Simulation umsetzen könnte.

Verlangsamung der Ausbreitung eines Virus durch Gegenmaßnahmen

Als Reaktion auf die Ausbreitung des Corona-Virus wurde von der Politik die AHA+L-Regel etabliert und damit die Maßnahmen Abstand halten, Handhygiene, Alltagsmaske und Lüften gefordert. Um diese oder ähnliche Maßnahmen im Rollenspiel nun zu modellieren, wird die Rolle eines Politikers eingeführt. Diese Person legt die Gegenmaßnahmen in jeder Runde fest (vgl. Abbildung B3.03). Sie bestimmt die Anzahl an Kontaktpersonen in jeder Runde neu, indem sie die Mobilität der Gruppe in vier Stufen variiert:



Abbildung B3.03 Eine Person in der Rolle eines Politikers

- Stufe 0 keine Einschränkung der Kontaktpersonen. Jeder agiert mit jedem.
- Stufe 1 Infizierte können nur direkte und übernächste Nachbarn (auch diagonal) anstecken.
- Stufe 2 Infizierte können nur direkte Nachbarn (auch diagonal) anstecken.
- Stufe 3 Infizierte können nur direkte Nachbarn (links/rechts/vorne/hinten) anstecken.

Vor der nächsten Runde gibt die Person die aktuelle Mobilitätsstufe bekannt. Je nachdem, wie vorsichtig die Person in der Rolle des Politikers agiert, verlangsamt sich die Ausbreitung eines Virus enorm, so dass die Schüler*innen die Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen auf anschauliche Weise nachvollziehen können. Je nach Lerngruppe bietet es sich an, die Modellierung individuell anzupassen und zu verfeinern.

- Untersucht, inwieweit die Einschränkung der Mobilität die Ausbreitung des Virus in der Simulation beeinflusst.
- Vergleicht die Ausbreitung des Virus mit und ohne Gegenmaßnahmen.
- Nennt weitere Gegenmaßnahmen, um das Modell zu erweitern.
- Nennt mögliche Grenzen des Modells.

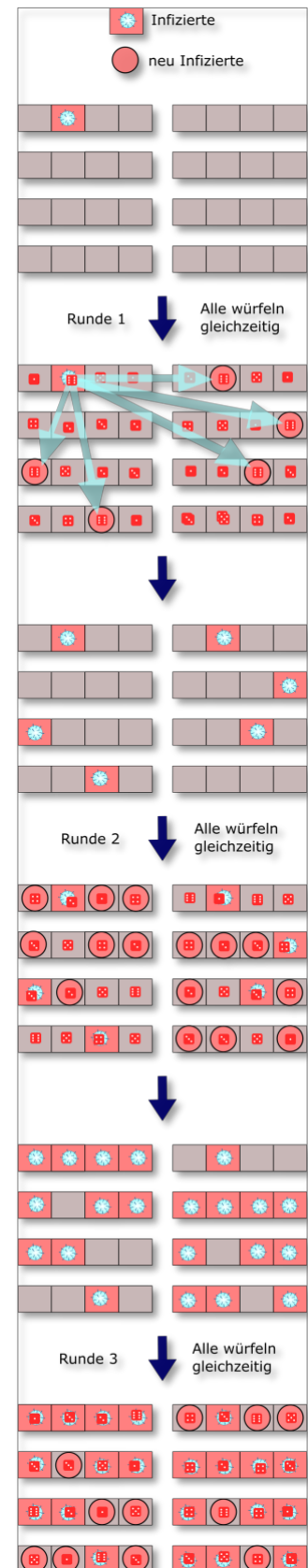


Abbildung B3.04 Beispiel einer ungebremsten Ausbreitung

B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel**Teststrategien und Quarantäne**

- Erweitert euer Modell durch die Einführung einer Teststrategie mit Quarantäne. Vergleicht die Simulation mit der Virusausbreitung ohne Teststrategie.
- Eine positiv getestete Person kann vor dem Test bereits Kontaktpersonen angesteckt haben. Deswegen wird die Quarantäne auf Kontaktpersonen erweitert. Überlegt, wie ihr die Ansteckung der Kontaktpersonen im vorliegenden Modell des Rollenspiels berücksichtigen könnt. Führt eine Simulation durch und vergleicht das Ergebnis mit der vorherigen Simulation zum Testen und Isolieren.

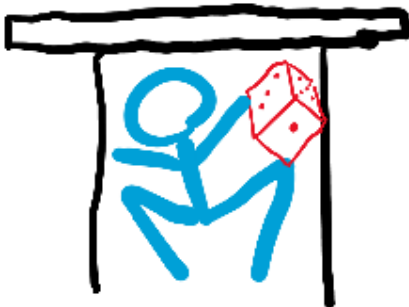








Abbildung B3.05
in Quarantäne

Die Ausbreitung eines Virus soll nicht nur verlangsamt, sondern möglichst auch gestoppt werden. Hilfsmittel dafür können Tests sein, mit denen man feststellt, ob eine Person infiziert ist. Wird die Infektion bei einer Person festgestellt, so begibt sich diese Person in eine Quarantäne und wird von der Gruppe isoliert. Sie kann im weiteren Verlauf niemanden mehr anstecken. Je nach Motivation der Klasse kann die Quarantäne im Rollenspiel veranschaulicht werden, indem sich die in Quarantäne befindenden Schüler*innen unter den Tisch setzen (vgl. Abbildung B3.05).

Im Rollenspiel lässt sich dieses Prinzip des Testens und Isolierens auf folgende Weise umsetzen. Würfeln die infizierten Personen bei ihrem nächsten Wurf eine 3, 4, 5 oder 6, dann werden sie als Infiziert erkannt und begeben sich in eine Isolation. Sie können sich und andere nicht weiter infizieren. Für sie ist das Spiel sofort beendet. Würfeln sie aber eine 1 oder 2, dann wurden die infizierten Personen nicht oder fehlerhaft getestet und gelten im Rollenspiel weiterhin als ansteckend. Mit ihrem Würfelergebnis 1 oder 2 können sie andere aus der Klasse infizieren. Damit reduziert sich für nicht Infizierte die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung. Bei diesem vereinfachten Modell wird kein fehlerhaft positiver Test berücksichtigt.

Zusammenfassend gelten über das bisherige Spiel für Infizierte die folgenden Zusatzregeln:

-  oder  Als infizierte Person wurdest du nicht oder fehlerhaft getestet und bist weiterhin **ansteckend**.
-  ,  ,  oder  Du wurdest positiv getestet. Begib dich sofort in **Quarantäne**. Du kannst niemanden mehr anstecken. Das Spiel ist für dich beendet. Damit alle in deiner Klasse sehen, dass du nun isoliert bist, setz dich bitte unter deinen Tisch (s. Abbildung B3.05).

Abbildungen B3.06 – B3.11 Würfel eins bis sechs

B4. Simulation mit Scratch

Grundidee

Wir stellen im Folgenden ein Programmpaket zur Simulation einer Pandemie auf Basis der bekannten didaktischen Entwicklungsumgebung Scratch vor. Das Paket ist so angelegt, dass es auch ohne Kenntnisse der Umgebung als Anwendungsprogramm eingesetzt werden kann, eine Weiterentwicklung im Rahmen des Informatikunterrichts bzw. von Profil- und Projektklassen ist ebenfalls möglich, soll aber im Folgenden nicht eingehend thematisiert werden. Stattdessen wollen wir ein modular angelegtes Unterrichtskonzept vorstellen, welches sich vor allem an Schüler*innen der Sekundarstufe I im Fach Biologie bzw. entsprechender Profil- und Projektklassen wendet. Am Schluss werden wir noch kurz auf einen Unterrichtsvorschlag im Rahmen des Lernfeldes Wachstum im Fach Mathematik eingehen.

Die Modellierung beruht - wie auch die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Simulationen anhand von Würfel - und Rollenspielen- auf den SI bzw. SIR Modellen zur Beschreibung von Pandemien. Konkret wird in allen Simulationen eine Population aus 256 Personen untersucht (die Zahl ist durch Begrenzung seitens der Umgebung Scratch vorgegeben). Jede Person wird dabei durch einen Kreis mit fester Größe dargestellt. Die Farbgebung der Kreise entscheidet über ihren Status während des pandemischen Geschehens. Gemäß dem SIR-Modell können die einzelnen Personen „Suszeptibel“ (S), „Infiziert“ (I, was in diesem Fall mit dem Status „Krank“ gleichgesetzt wird) und „Genesen“ (R, engl. Recovered und damit immun) sein. Die Kreise sind auf einem quadratischen Gitter angeordnet und bewegen sich im Verlauf der Simulation zufällig innerhalb eines bestimmten Radius' um ihren Gitterplatz. Der Radius stellt ein Maß für die Mobilität des Individuums innerhalb der Gruppe dar und kann als Modellparameter verändert werden. Um diesen Variationsparameter können dann beispielsweise Kontaktbeschränkungen simuliert werden. Eine Übertragung des Virus kann erfolgen, wenn sich ein infizierter Kreis (Blau) und eine suszeptibeler Kreis (Orange) berühren. Dabei kommt es mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit (Parameter Ansteckung) zu einer Infektion. Einen weiteren Variationsparameter stellt die Krankheitsdauer in Tagen dar. Wahlweise kann auch eine Impfung der suszeptiblen Personen vor Ausbruch der Pandemie erfolgen. Dazu werden nach dem Zufallsprinzip eine bestimmte Anzahl der Personen vorab immunisiert, die Impfquote kann ebenfalls als Parameter gewählt werden.

Ausführliche fachdidaktische Betrachtungen und ein Erfahrungsbericht zum Einsatz der vorgestellten Modelle sind im ISTRON-Band „Mathematisches Modellieren in der Praxis“ (siehe Anhang 1, Besser et al., Hrsg., in Vorbereitung) dargestellt.

An dieser Stelle sei auf die wesentlichen, vereinfachenden Modellannahmen hingewiesen. Zunächst ist die Wahrscheinlichkeit für jede Person, sich zu infizieren, gleich groß. Ebenso gibt es keine Unterschiede bei den Krankheitsverläufen: Für jede Person dauert die Infektion gleich lang, am Ende der Infektion folgt mit gleich großer Wahrscheinlichkeit Genesung oder Tod der Person. Ebenso sind die sozialen Interaktionen für alle Personen im statistischen Mittel gleich.

Die Immunität - unabhängig ob durch Impfung oder Genesung erworben - ist grundsätzlich dauerhaft und steril (eine immune Person kann sich nicht mehr infizieren und das Virus somit auch nicht mehr weitergeben). Gerade für die Covid19-Pandemie treffen diese Vereinfachungen sicher nur noch in sehr eingeschränktem Maß zu. Die kritische Diskussion dieser Vereinfachung und der Aussagekraft der Modelle ist als wesentlicher Teil der Unterrichtsreihe gedacht.

Übersicht über die Module

1. Romo-Vision: Mit kleinen Kreisen komplexe Situationen darstellen
2. Ausbruch einer Pandemie ohne Gegenmaßnahmen
3. Kontaktmaßnahmen
4. Impfung

Zielgruppen

- Mathematik Sekundarstufe II, Lernbereich Wachstum
- Biologie Sekundarstufe I, Infektionskrankheiten
- Informatik Sekundarstufe I, Lernbereich Algorithmen
- Profil- und Projektklassen MINT

Anleitung zum Scratch Programm

Das Programm ist online unter dem folgenden Link verfügbar:

<https://scratch.mit.edu/projects/528886226/>

1. Start des Programms

- Eröffne eine neue Session mit der grünen Flagge.
- Beginne eine neue Simulation mit dem Button Setup.

2. Infizierte Individuen zu Beginn

- Infiziere Individuen, indem du sie mit der linken Maustaste anklickst. Sie ändern dann ihre Farbe zu blau.
- Durch Anklicken eines infizierten Individuums wird dieses immun und wechselt die Farbe zu grün, man kann also durch einen Doppelklick ein Individuum direkt immunisieren, was ja einer Impfung entspricht.
- Durch das Anklicken eines immunen Individuums wird dieses in den Status „Naiv“, also empfänglich, zurückversetzt.
- Impfung: Durch den Button "Vax" werden zufällig ausgewählte Individuen geimpft, d.h. direkt immunisiert.

3. Starte die Epidemie. Es gibt zwei Möglichkeiten.

- Durch Drücken der Leertaste wird jeweils ein Tag durchlaufen und die entsprechenden Werte aktualisiert.
- Durch Anklicken des Start-Buttons läuft die Epidemie automatisch bis zum Ende.

4. Auswertung

- Am Ende der Pandemie kannst du dir durch Drücken der Taste „a“ über eine Liste die Entwicklung der Fallzahlen anschauen.
- Durch Drücken der Taste „s“ wird diese Liste wieder ausgeblendet.

5. Rolle der einzelnen Parameter

Du kannst die Versuchsparameter Impfanteil, Mobilität, Ansteckung und Dauer über die einzelnen Schieberegler festlegen.

Mobilität: Gibt den Radius an, in dem sich die Individuen um ihren Gitterplatz herum nach dem Zufallsprinzip bewegen.

Ansteckung: Gibt die Wahrscheinlichkeit in % an, mit dem ein naives Individuum bei einem Kontakt mit einem Infizierten selbst infiziert wird.

Dauer: Gibt die Länge in Tagen an, wie lang es von der Infektion bis zur Genesung oder zum Tod dauert. Danach ist ein Individuum immun bzw. verstorben.

Impfquote: Gibt den Anteil der Individuen an, der vor der Simulation immunisiert wird.

Modul 1 – Romo Vision – Beispiel einer optischen Modellierung

Das erste Modul hat einen rein einführenden Charakter und weist noch keinen inhaltlichen Bezug zur Simulation von Pandemien dar. Es dient vor allem dazu, den Schüler*innen die Funktionsweise der verwendeten Modellierung optisch zu veranschaulichen.

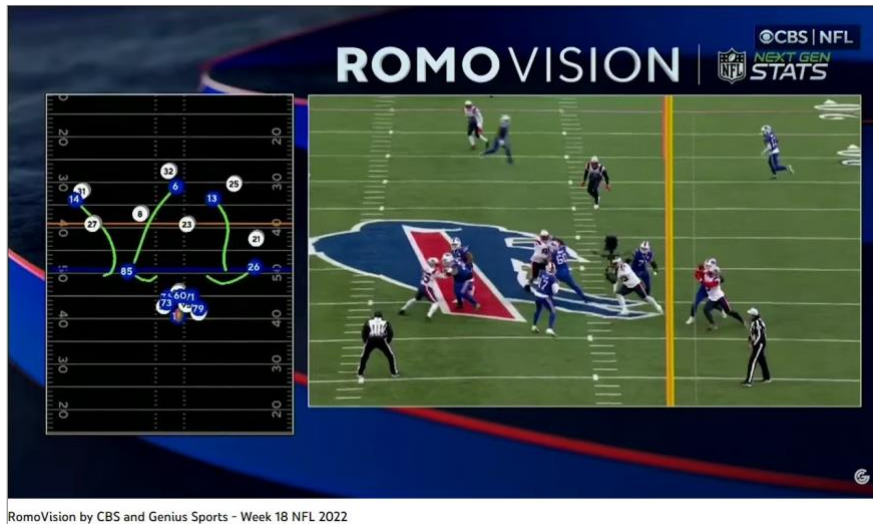


Abbildung B4.01 Spielszene aus einer Football-Übertragung. Rechts die reale Szene, Links die Umsetzung in Romo-Vision

(Quelle: Genius Sports Group, YouTube/Benutzer: Genius Sports, [Link zum Video](#), s. [Screenshot](#))

Das Tool Romo-Vision wird einigen Jahren zur Spielanalyse bei Übertragungen von Football-Spielen aus der NFL eingesetzt. Für unsere Pandemie-Simulationen werden wir ein Verfahren einsetzen, das auf einer optisch ähnlichen Visualisierung basiert. Wir werden uns daher zu Beginn der Einheit an diesem Beispiel mit der Vorgehensweise, der Aussagekraft und den Grenzen mathematischer Modellbildung befassen.

Arbeitsaufträge

1. Schaut Euch zunächst das Beispiel-Video zur Romo-Vision aus einem NFL-Spiel an:
Romo Vision Beispiel
2. Beschreibe in eigenen Worten, wie die einzelnen Spieler der beiden Teams symbolisiert werden.
3. Liste auf, welche Eigenschaften der einzelnen Spieler durch das Modell erfasst werden. Nenne Beispiele für Eigenschaften von Spielern, die nicht erfasst werden.
4. Romo-Vision wird vor allem zur taktischen Analyse einzelner Spielzüge eingesetzt. Erläutere, warum das Tool unter diesem Aspekt des Spiels eine Hilfestellung darstellt. Schaut euch dazu noch einmal das Video an und vergleicht den realen Spielzug mit der Visualisierung.
5. Diskutiere Grenzen des Modells.

Mögliche Lösungen

1. Die Spieler werden durch jeweils gleich große Kreise in den Farben ihren Mannschaften und mit ihrer Rückennummer modelliert. Der Ball durch einen kleineren Kreis.
2. Es ist jeweils die aktuelle Position und die Bewegung der Spieler zu erkennen. Vernachlässigt werden Eigenschaften wie Größe, Gewicht und Zweikampfverhalten.
3. In der Romo-Vision wird das Spielgeschehen deutlich übersichtlicher. Es lassen sich besser als im realen Bild alle Bewegungen der Spieler gleichzeitig verfolgen.
4. Es gehen wesentliche Informationen über das Verhalten der einzelnen Spieler verloren. In der Romo-Vision ist nicht mehr zu erkennen, wie beispielsweise Bälle geworfen und gefangen werden oder wie die einzelnen Spieler ihren Gegner versuchen zu blockieren oder zu tacklen. Ferner sind alle Spieler gleich dargestellt, was nicht der Realität entspricht.

Ausblick und Diskussion

In den folgenden Stunden werden wir das Geschehen während einer Pandemie anhand eines ähnlichen Modells modellieren. Dabei wird jede Person, die von der Pandemie betroffen sein könnte durch einen Kreis symbolisiert. Die Farbe des Kreises gibt an, ob die Person infiziert ist oder nicht. Der Virus kann bei Kontakt zwischen zwei Personen mit einer festgesetzten Wahrscheinlichkeit übertragen werden.

Diskutiere vor dem Hintergrund der heutigen Stunde, inwiefern dieses Modell eine sinnvolle Vorgehensweise darstellt.

Mögliche Lösung: Ähnlich wie bei dem Football-Spiel gehen hier wesentliche Information verloren. Wir wissen z.B. nicht das Alter und den Gesundheitszustand der einzelnen Personen. Die Gesamtausbreitung kann allerdings auf diese Weise simuliert werden.

Modul 2 – Ausbreitung ohne Maßnahmen und Impfung

Wir werden zunächst die Ausbreitung des Virus in einer Population untersuchen, in der es weder zu Kontaktbeschränkungen noch zur Eindämmung durch Impfungen kommt. Dabei kann die Entwicklung der Infektionszahlen anhand der Simulation qualitativ und quantitativ untersucht werden. Außerdem wird die Immunität in der Bevölkerung nach einer unvollständigen Durchseuchung betrachtet. Ergänzend ließen sich die Einflüsse von Krankheitsdauer und Ansteckungsrate auf die Epidemie untersuchen

Arbeitsaufträge

Die Mobilität wird auf einem Wert von 100 festgehalten, was einer uneingeschränkten Mobilität entspricht. Die Krankheitsdauer wird auf 10 Tage und die Mortalität auf 0 festgesetzt. Zu Beginn der Versuchsreihen wird jeweils eine Person infiziert. Diese kann vom Versuchsteilnehmer vorher gewählt werden. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird empfohlen, die infizierte Person in der Mitte zu platzieren.

1. Untersuche die Entwicklung der Pandemie für ein Virus mit der Ansteckungsrate 20. Zu welchen Zeiträumen gibt es besonders viele bzw. besonders wenige Infizierte?
1. Die Ausbreitung des Virus ändert sich mit geringerer Ansteckungsrate. Untersuche die Ausbreitung eines Virus mit der Ansteckungsrate 8.
2. Finde durch Variation der Ansteckungsrate heraus, ab welchem Wert das Virus das Potential für eine Pandemie hat, das heißt wann in der Regel alle Personen auf Dauer mit dem Virus infiziert werden.

Mögliche Lösungen

1. Die Abbildungsserie zeigt einen typischen Verlauf der Pandemie für die gewählten Parameter. Auffällig ist die zunächst langsame Ausbreitung (Tag 0, 10, 20) die sich dann deutlich beschleunigt (Tag 30, 40) um sich erst dann abzuwächen, wenn ein Großteil der Bevölkerung wieder genesen und damit immun ist (Tag 50 und 60).

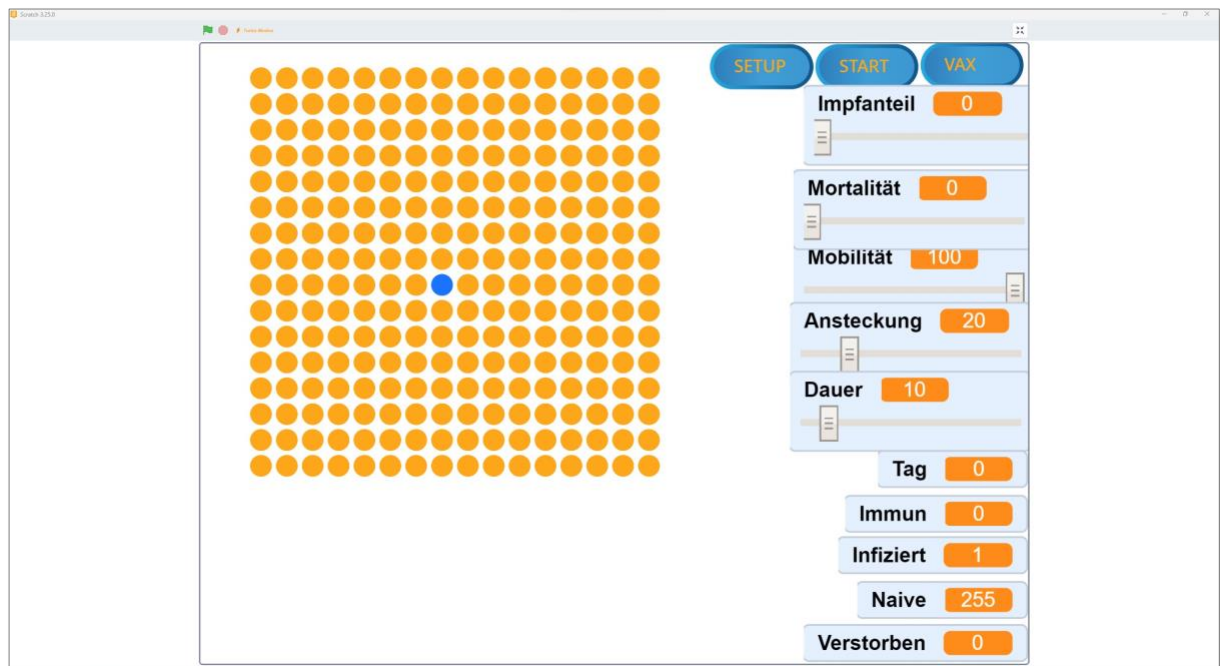


Abbildung B4.02 Tag 0

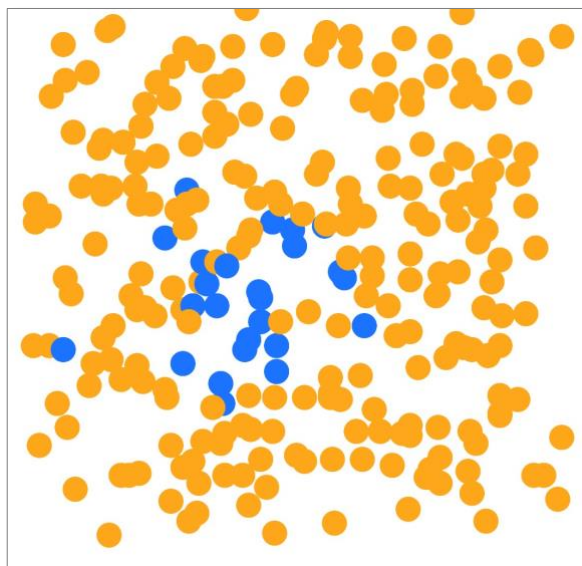


Abbildung B4.03 Tag 10

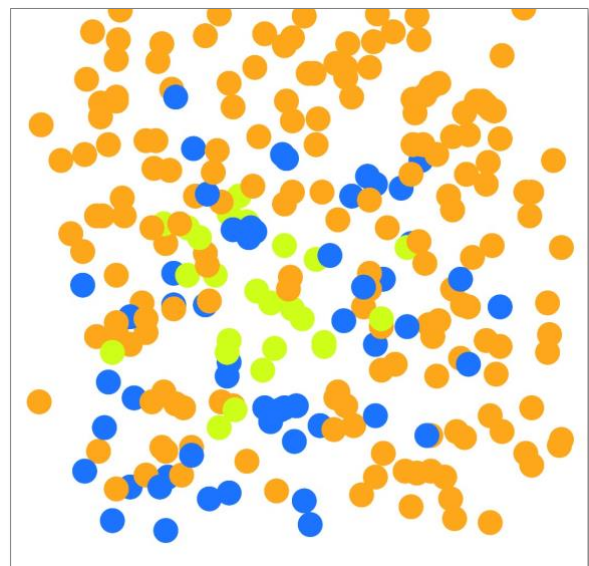


Abbildung B4.04 Tag 20

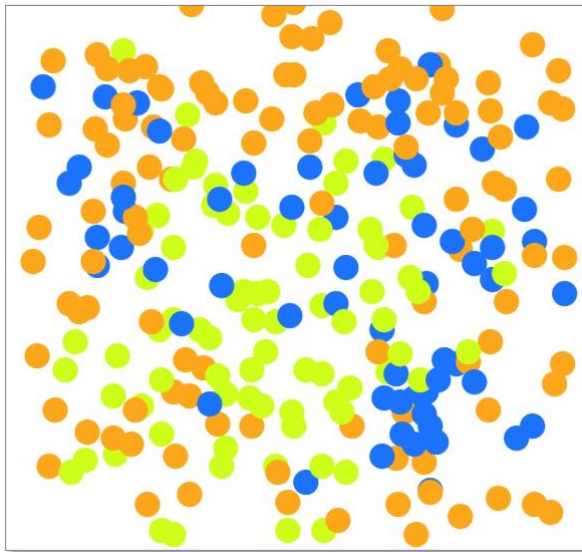


Abbildung B4.05 Tag 30

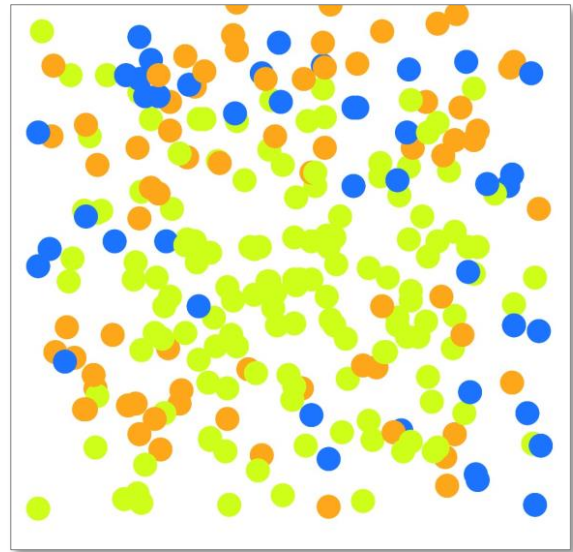


Abbildung B4.06 Tag 40

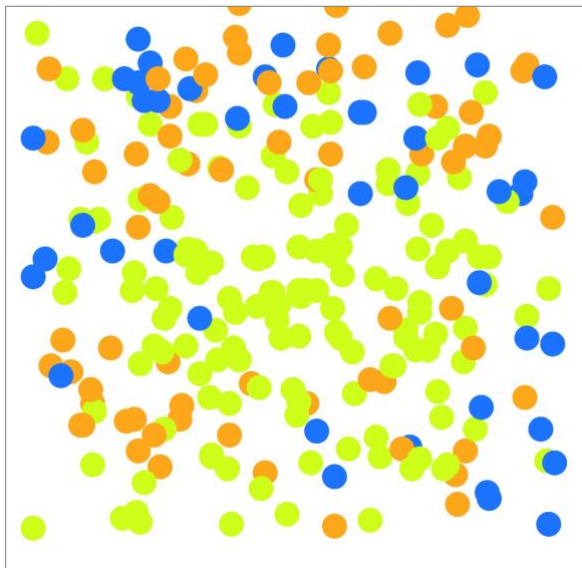


Abbildung B4.07 Tag 50

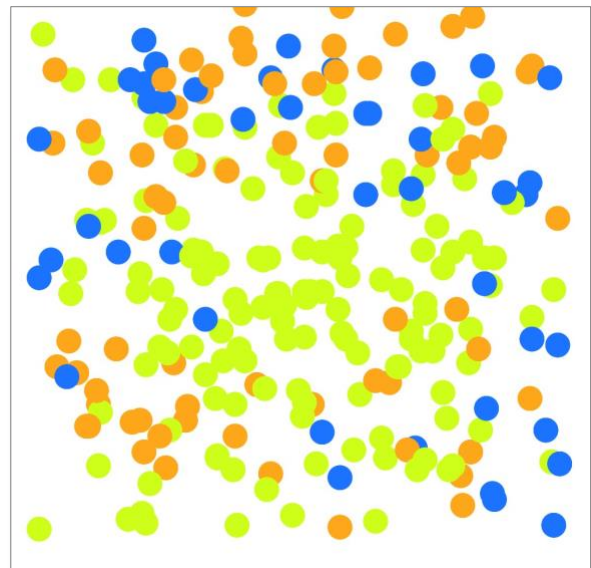


Abbildung B4.08 Tag 60

- Bei geringer Ansteckungsrate ergeben sich in einzelnen Läufen unterschiedliche Verläufe. Bei einigen Durchläufen kommt es überhaupt nicht zu Ansteckungen, bei anderen infiziert sich nur ein kleiner Teil der Population. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine ausreichend hohe Ansteckungswahrscheinlichkeit Grundvoraussetzung für das Auftreten einer Pandemie ist.

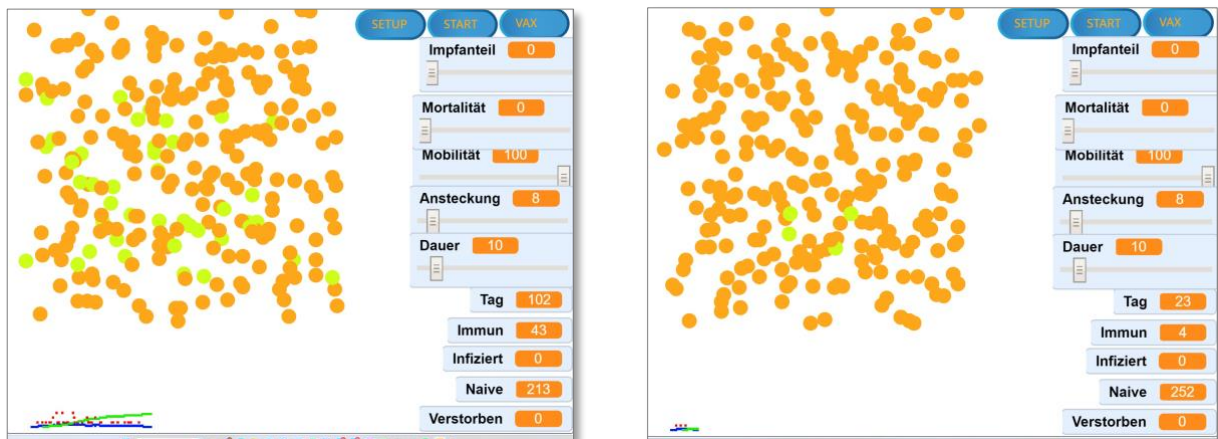


Abbildung B4.09, B4.10 Zwei verschiedene Durchläufe zur Ansteckungsrate 8

- Die Frage, ab welcher Ansteckungsrate es zu einer vollständigen Durchseuchung der Bevölkerung kommt, lässt sich zwar nicht exakt beantworten, da die Modelle gerade in diesem Übergangsbereich von Lauf zu Lauf unterschiedliche Resultate zeigen. Mit den gewählten Parametern kann man aber bei einem Wert der Ansteckung von 15 davon ausgehen, dass sich fast alle Personen der Population auf Dauer infizieren.

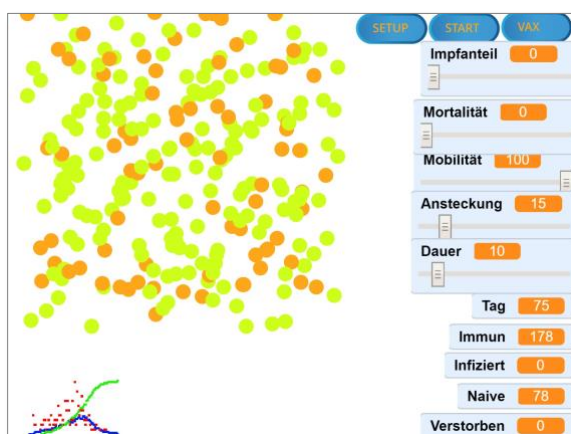


Abbildung B4.11 Durchlauf für Ansteckungsrate 15

Ausblick und Diskussion

Anhand des Modells lässt sich der zeitliche Verlauf einer Pandemie anschaulich darstellen. Je nach geplantem Unterrichtsgang kann sich hier eine quantitative mathematische Untersuchung anbieten (über Exponentialfunktion oder das logistische Wachstum). Ebenso lässt sich die Bedeutung der Ansteckungsrate für das Auftreten bzw. den zeitlichen Verlauf einer Pandemie darstellen.

Das Modell liefert weitere Möglichkeiten der Untersuchung, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Beispielsweise kann auch die Krankheitsdauer variiert werden, was die langfristige Wahrscheinlichkeit von Infektion und damit den Verlauf der Pandemie entscheidend beeinflusst. Ebenso kann es über den Parameter Mortalität auch zu Todesfällen in der Population kommen. Hier bietet sich etwa der Vergleich zwischen einem hoch ansteckenden, aber weniger tödlichem Virus mit einem Virus an, dass zwar wenig ansteckend, dafür aber deutlich tödlicher ist.

Modul 3 – Auswirkungen von Kontaktbeschränkungen auf die Pandemie

Wir werden nun die Auswirkungen von Kontaktbeschränkungen auf das Pandemiegeschehen in der Gruppe untersuchen. Kontaktbeschränkungen werden in unserer Simulation über den Parameter Mobilität dargestellt. Ein Mobilitätswert von 100 entspricht der Situation ohne einschränkende Maßnahmen. Einem Wert von 0 entspräche eine vollständige Isolation aller Personen, bei der keine Kontakte und damit auch keine Übertragungen des Virus mehr möglich sind.

Die Ansteckungsrate wird für diesen Versuch wiederum bei einem Wert von 20 fixiert, die Krankheitsdauer auf 10 Tage.

Arbeitsaufträge

1. Untersuche die Ausbreitung des Virus für verschiedene Werte der Mobilität. Halte die Ansteckungsrate dabei bei einem Wert von 10 und setze die Krankheitsdauer auf 10 Tage. Versuche möglichst genau einen Wert der Mobilität zu bestimmen, bei dem es noch zu einem vollständigen pandemischen Ausbruch kommt.
2. Ermittle die notwendige Dauer eines kompletten Lockdowns, um das Virus vollständig zum Verschwinden zu bringen.

Mögliche Lösungen

1. Die Bilderserie zeigt eine Abfolge von Simulationen mit unterschiedlichen Einschränkungen der Mobilität. Ab einem Wert der Mobilität von 20 kommt es in der Regel zu keinem nennenswerten Ausbruch mehr. Allerdings können gerade im Grenzbereich die einzelnen Runs stark unterschiedliche Verläufe aufzeigen.

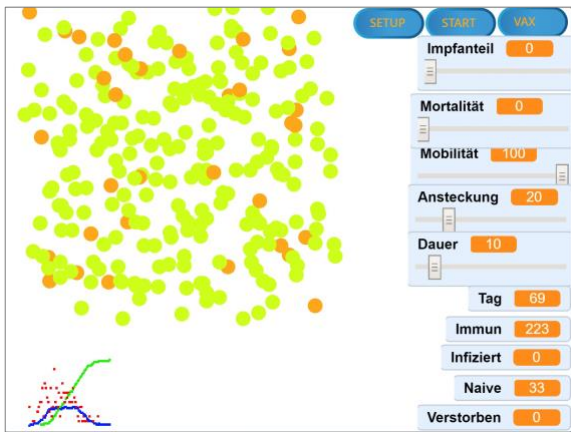


Abbildung B4.12 Mobilität 100

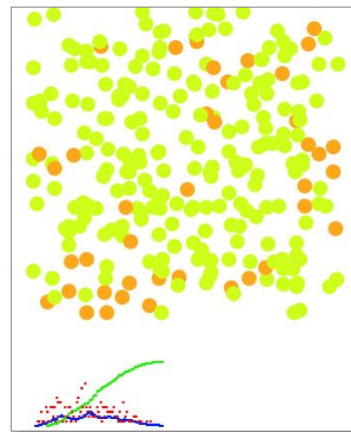


Abbildung B4.13 Mobilität 80

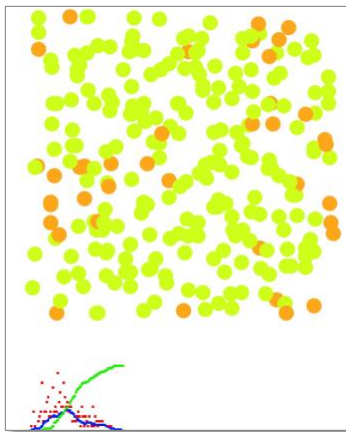


Abbildung B4.14 Mobilität 60

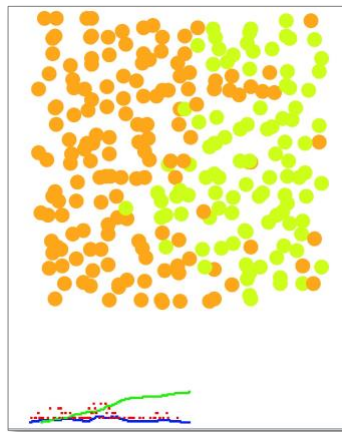


Abbildung B4.15 Mobilität 40

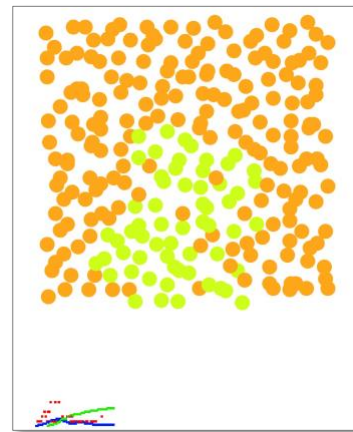


Abbildung B4.16 Mobilität 30

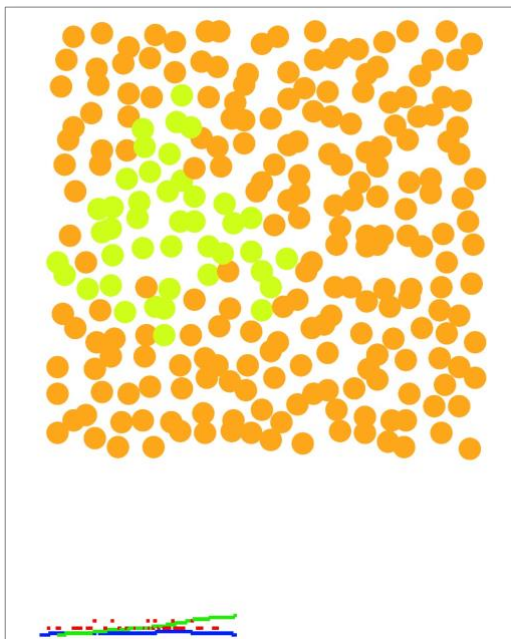


Abbildung B4.17 Mobilität 25

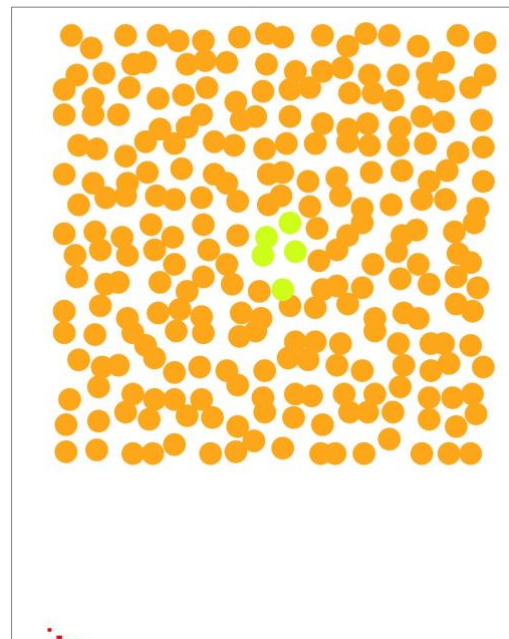


Abbildung B4.18 Mobilität 20

- Um das Virus vollständig zum Verschwinden zu bringen, benötigt es einen vollständigen Lockdown über einen Zeitraum der Krankheitsdauer. Theoretisch ließe sich dieses Vorgehen auch auf die Covid-19 Pandemie übertragen. Anhand dieser Situation lassen sich allerdings auch die Grenzen der Modellierung darstellen. Im Falle der Covid-19 Pandemie hätte dies einen vollständigen Lockdown über einen Zeitraum von mindestens 2 Wochen bedeutet.

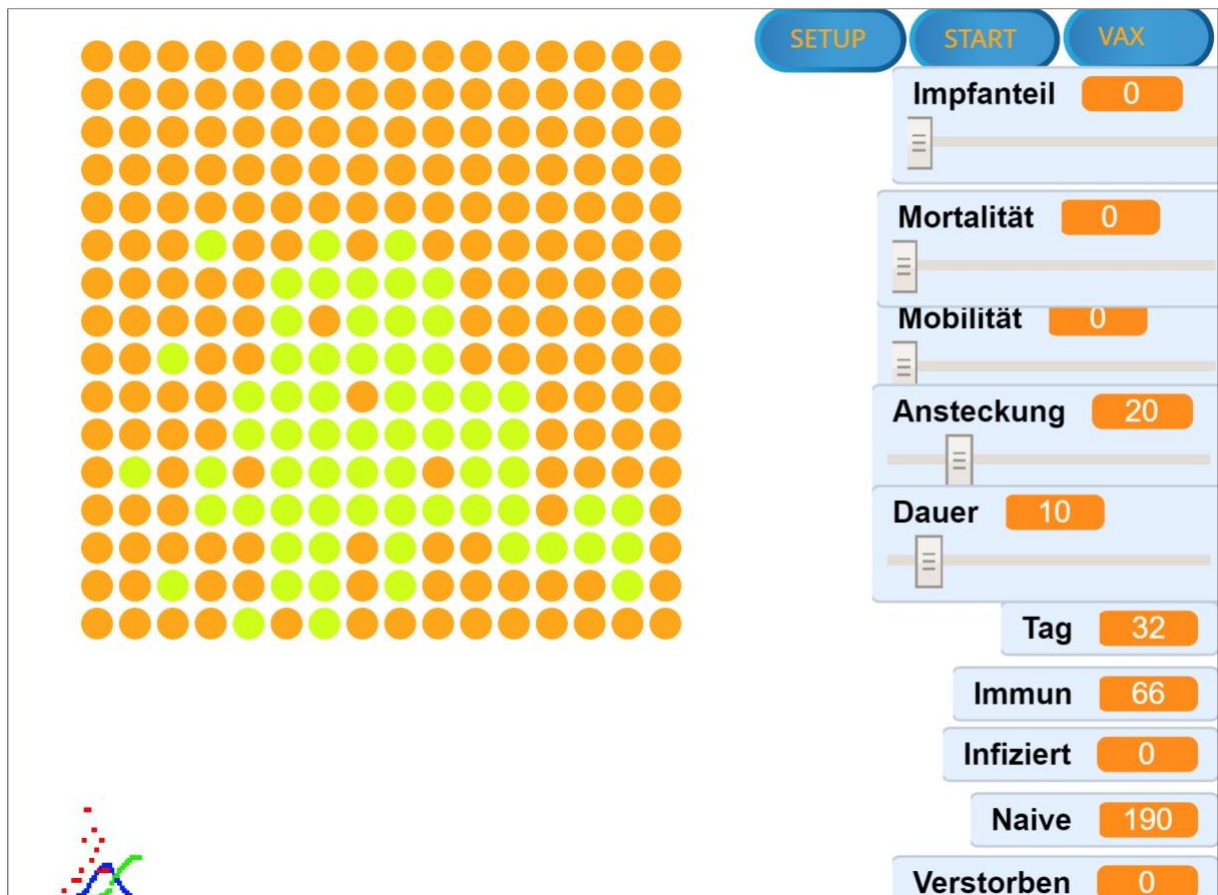


Abbildung B4.19 Ab Tag 10 wurde ein vollständiger Lockdown (Mobilität 0) verhängt.

Modul 4 – Impfung

In diesem Modul soll der Einfluss der Impfung auf das pandemische Geschehen untersucht werden. Impfung bedeutet in unserem Modell, dass eine Person direkt vom Status Suszeptibel in den Status Genesen übergeht. Die so erworbene Immunität ist sowohl steril - eine immune Person kann weder infiziert werden noch das Virus weitergeben - als auch dauerhaft. Dies stellt vor allem im Vergleich zur Covid19-Pandemie eine deutliche Abweichung zur realen Welt dar und sollte im Unterricht entsprechend thematisiert werden. Ein Beispiel für dauerhafte, sterile Immunität stellt beispielweise die Impfung bzw. Immunität gegen das Masern-Virus dar.

Im vorgestellten Unterrichtsmodell wird die Gruppe bereits vor dem Start des Versuchs teilweise geimpft. Dabei wird eine Impfquote festgesetzt und die einzelnen Personen zufällig immunisiert, bis die gewünschte Impfquote erreicht ist.

Arbeitsaufträge

1. Vergleiche die Ausbreitung des Virus für verschiedene Impraten und der Ausbreitung ohne Impfung. Bestimme einen Wert der Impfquote, ab dem es zu keinem Ausbruch mehr kommt. Wähle als Ansteckungsrate 20, Mobilität 100 und Krankheitsdauer 10.
2. Vergleiche die Impfung in der Simulation mit den Erfahrungen in der Covid-19 Pandemie.

Mögliche Lösungen

1. Für eine geringe Impfquote (bis zu 30) verändert sich das pandemische Geschehen innerhalb der Gruppe im Vergleich zum Verlauf ohne Impfung nur geringfügig. Erst wenn die Impfquote auf einen Wert von etwa 40 gesteigert wird, kann die Pandemie allein durch die Impfung im Keim erstickt werden.

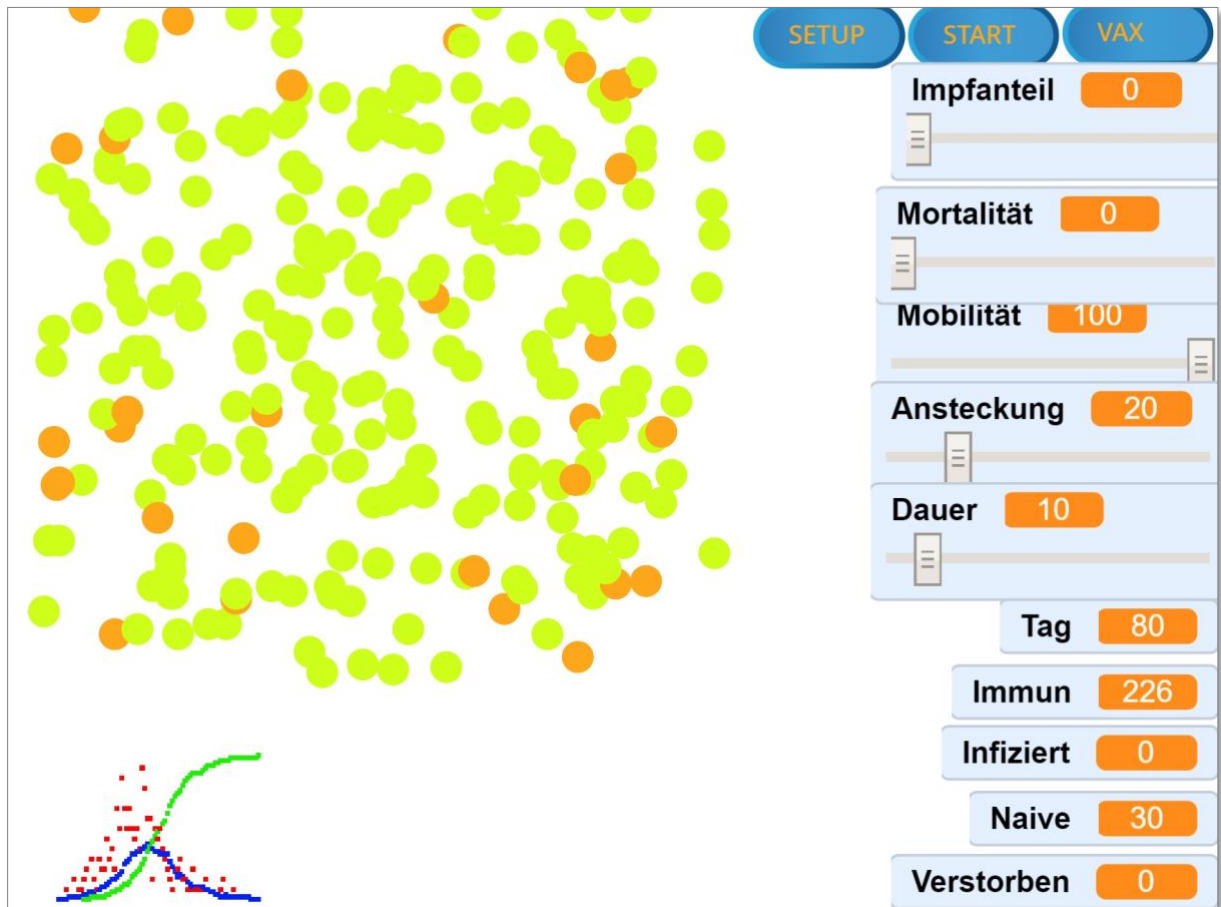


Abbildung B4.20 Impfanteil 0/100

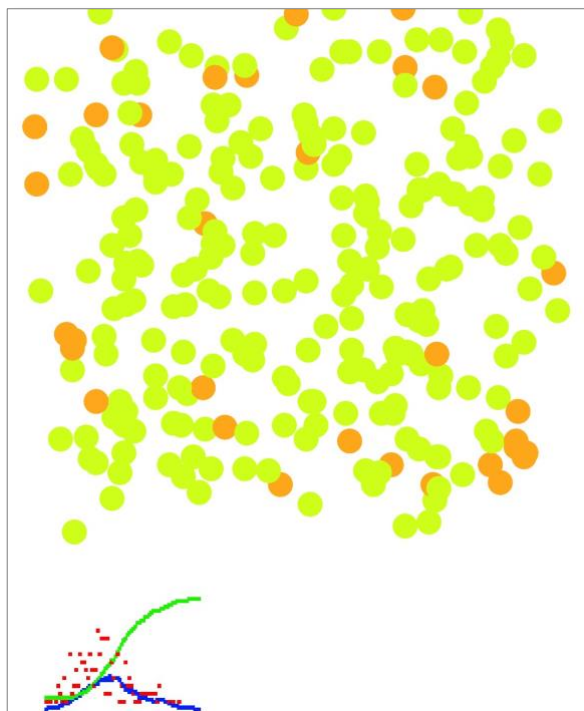


Abbildung B4.21 Impfanteil 10/100

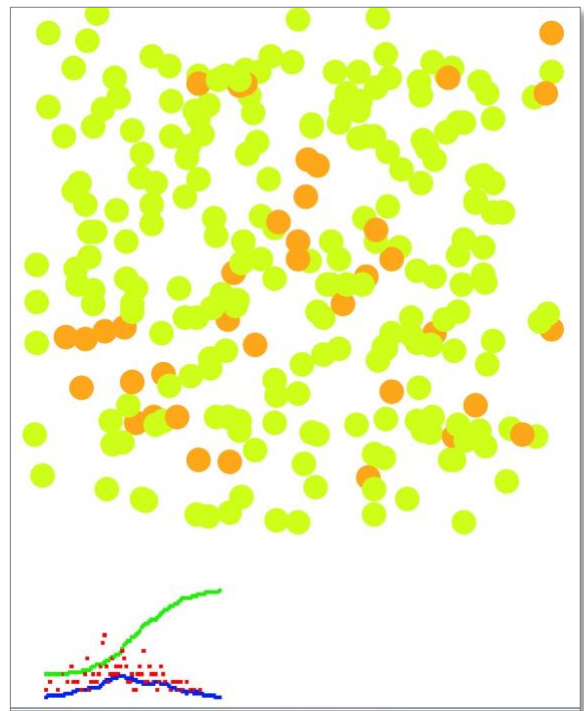


Abbildung B4.22 Impfanteil 20/100

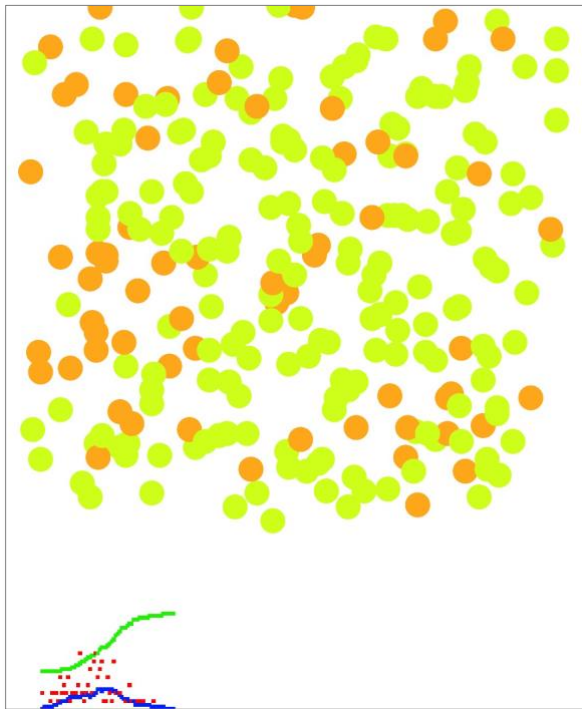


Abbildung B4.23 Impfanteil 30/100

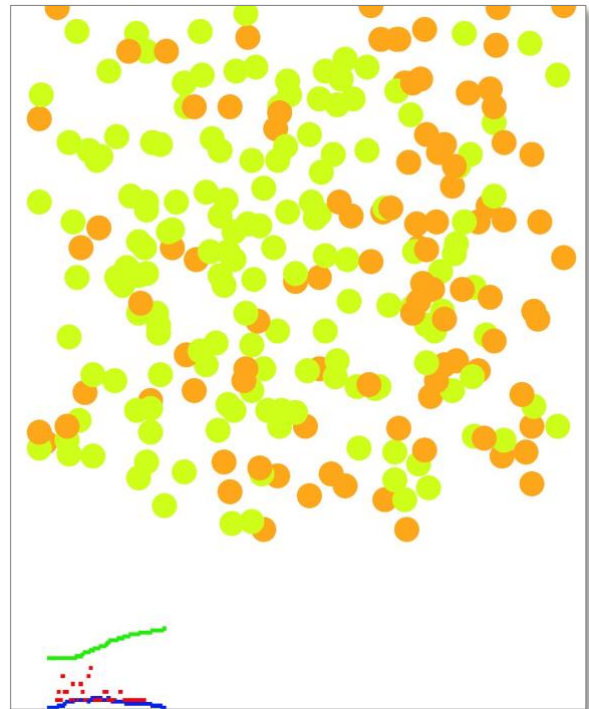


Abbildung B4.24 Impfanteil 40/100

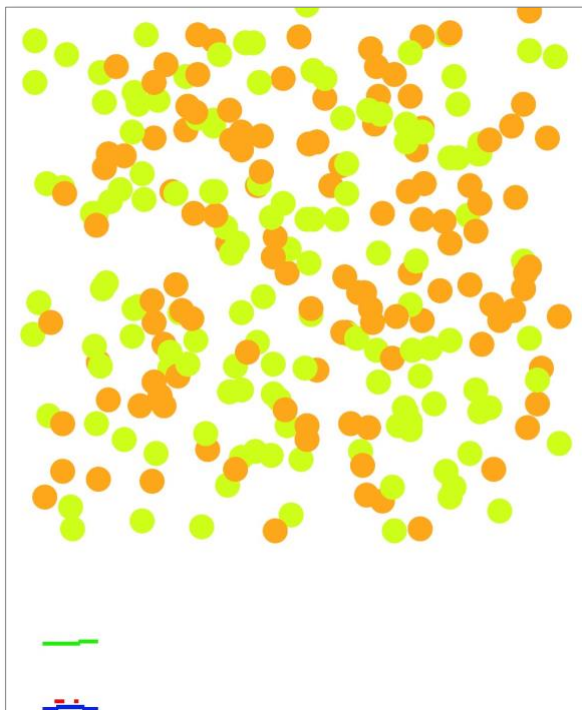


Abbildung B4.25 Impfanteil 50/100

-
2. Während der Covid-19 Pandemie kam es immer wieder auch zu Infektionen trotz Impfungen, allerdings wurde der Krankheitsverlauf deutlich abgemildert. Zu Beginn der Impfkampagne kam es jedoch kaum zu merklichen Effekten auf die Anzahl der Infektionen, weshalb in diesem Zeitraum auf weiterhin Kontaktbeschränkungen aufrechterhalten wurden.

Ausblick

Die hier vorgestellte Rechnung kann nur eine Anregung sein, die Wirkung einer Impfkampagne auf das Infektionsgeschehen zu untersuchen. Weitere Szenarien zur Untersuchung könnten der Vergleich zu weniger bzw. stärker infektiösen Viren darstellen. Außerdem wurde der eigentliche Sinn der Impfung - Vermeidung von Todesfällen und schweren Krankheitsverläufen - in dieser Rechnung gar nicht thematisiert. Hier könnten zum Beispiel Simulationen mit einer von Null verschiedenen Mortalität zielführend sein.

Anhang 1 – Quellenverzeichnis

B. Pandemische Effekte

B1. Perkolation

- Gente, Regina: Modellerte Ausbreitung, Physik Journal 21 (5), Mai 2022, Wiley VCH
- Matthias F. Schneider, ZEIT ONLINE, Beitrag vom 09.09.2020, Online unter:
https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2020-09/corona-ausbruch-stoppen-physik-neuinfektionen-perkolation-zweite-welle?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de, abgerufen am 01.11.2020
- Ilona Kriesl, Stern online, Beitrag vom 09.09.2020, Online unter:
<https://www.stern.de/gesundheit/perkolation--ein-phaenomen-aus-der-physik-erklart--wie-corona-ausser-kontrolle-geraet-9406858.html>, abgerufen am 01.11.2020
- Christian Drosten und Korinna Henning, NDR Corona-Virus-Update, Folge 54, 09.09.2020, Online unter:
<https://www.ndr.de/nachrichten/info/54-Coronavirus-Update-Eine-Empfehlung-fuer-den-Herbst,podcastcoronavirus238.html>, abgerufen am 01.11.2020
- Thomas Filk: Perkolationstheorie, in Lexikon der Physik, Online unter:
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/perkolationstheorie/11050>, abgerufen am 01.11.2020
- Bela Bollobas, Oliver Riordan: Percolation, Cambridge University Press, 2006
- Joan Adlera 3 , Shaked Elfenbaum, and Liran Sharir: Percolation in education and application in the 21st century, THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL SPECIAL TOPICS; Springer-Verlag, 2016
- Online-Simulation: <https://pythonyx.pythonanywhere.com/percolation/>, abgerufen am 30.11.2023

B2. Simulation mit Würfel und Papier

B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel

B4. Simulation mit Scratch

- Besser, M., Hagena, M., Krawitz, J., & Tropper, N. (Hrsg.) (in Vorbereitung).
Mathematisches Modellieren in der Praxis. Lernumgebungen für einen kompetenzorientierten Mathematikunterricht in den Sekundarstufen. Aufgabenbeispiele, fachliche und fachdidaktische Fundierungen, methodische Überlegungen, Beschreibung von Schülerlösungsprozessen. ISTRON Schriftenreihe, Band 11. Springer.

Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis

Legende

Kapitel

Abbildung .xx, .xx, .xx, ..., ...

Urheber # Lizenzigentümer # Quellenangabe

bei Screenshots: Ersteller # Lizenzigentümer/Urheber # Quellenangabe

Deckblatt

- .01
Andreas Kral # Andreas Kral # -

B. Pandemische Effekte

B1. Perkolation

- .01, .02
Dr. Regina Gente # ZEIT ONLINE/Matthias F. Schneider # Online unter:
<https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2020-09/corona-ausbruch-stoppen-physik-neuinfektionen-perkolation-zweite-welle>, abgerufen am 30.11.2023 (s. Screenshot)
- .03, .04, .05
Dr. Regina Gente # Dr. Regina Gente # -
- .06, .07
Dr. Regina Gente # YouTube/Dr. Regina Gente # Online unter:
<https://www.youtube.com/watch?v=7fo0wfrclKQ>, abgerufen 30.11.2023 (s. Screenshot)
- .08
Dr. Regina Gente # YouTube/Dr. Regina Gente # Online unter:
<https://www.youtube.com/watch?v=m4eO3lB3Rng>, abgerufen 30.11.2023
(s. Screenshot)
- .09
Dr. Regina Gente # Pythonyx # Online unter:
<https://pythonyx.pythonanywhere.com/percolation/>, abgerufen am 30.11.2023
(s. Screenshot)
- .10, .11
Dr. Regina Gente # Dr. Regina Gente # -

Legende

Kapitel

Abbildung .xx, .xx, .xx, ..., ...

Urheber # Lizenzigentümer # Quellenangabe

bei Screenshots: Ersteller # Lizenzigentümer/Urheber # Quellenangabe

B2. Simulation mit Würfel und Papier

- .01 – .21

Dr. Regina Gente # Andreas Kral # -

B3. Simulation einer Virus-Ausbreitung im Rollenspiel

- .01 – .11

Andreas Kral # Andreas Kral # -

B4. Simulation mit Scratch

- .01

Dr. Rolf Wöste # YouTube/Genius Sports Group # Online unter:

<https://www.youtube.com/watch?v=bLrl6QM9O0M>, abgerufen am 30.11.2023

(s. Screenshot)

- .02 – .25

Dr. Rolf Wöste # SCRATCH FOUNDATION # Online unter:

<https://www.scratchfoundation.org>, abgerufen am 30.11.2023 (s. Screenshot)

Autor*innen

Die Unterrichtsmaterialien wurden von folgenden Personen erarbeitet
(in Klammern die jeweiligen Kapitel der Autor*innen):

- Dr. Regina Gente – Georg-Christoph-Lichtenberg-Schule, Kassel (B1, B2)
- Andreas Kral – Kaiser-Karls-Gymnasium, Aachen (B3)
- Dr. Rolf Wöste – Evangelisches Gymnasium Nordhorn, Nordhorn (B4)

Weitere Mitwirkende

Wir bedanken uns bei den folgenden Personen für Ihre Unterstützung:

- Prof. Dr. Andreas Eichler, Didaktik der Mathematik, Universität Kassel
- Alle Schüler*innen
 - des evangelischen Gymnasiums Nordhorn,
 - der Georg-Christoph-Lichtenberg-Schule Kassel und
 - des Kaiser-Karls-Gymnasiums Aachen,

die zur Weiterentwicklung und zur Erprobung der Materialien beigetragen haben.

Copyright – Creative Commons (CC)

Die Informationen, die Sie in dieser Veröffentlichung vorfinden, wurden nach bestem Wissen und Gewissen sorgfältig zusammengestellt und geprüft.


Es wird jedoch keine Gewähr – weder ausdrücklich noch stillschweigend – für die Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität übernommen.



Diese Publikation steht unter einer Creative Commons Lizenz, Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International.

Dies gilt auch für die über die QR-Codes zur Verfügung gestellten ergänzenden Materialien!

Hier die offizielle Konzessionsurkunde von Creative Commons für diese Online-PDF-Veröffentlichung:



Creative Commons Konzessionsurkunde

Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)




Dies ist eine allgemeinverständliche Zusammenfassung der [Lizenz](#) (die diese nicht ersetzt).

Sie dürfen:

- Teilen** – das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten
- Bearbeiten** – das Material remixen, verändern und darauf aufbauen

Der Lizenzgeber kann diese Freiheiten nicht widerrufen solange Sie sich an die Lizenzbedingungen halten.

Unter folgenden Bedingungen:

-  **Namensnennung** – Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.
-  **Nicht kommerziell** – Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen.
-  **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** – Wenn Sie das Material remixen, verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

Keine weiteren Einschränkungen – Sie dürfen keine zusätzlichen Klauseln oder technische Verfahren einsetzen, die anderen rechtlich irgendetwas untersagen, was die Lizenz erlaubt.

Hinweise:

Sie müssen sich nicht an diese Lizenz halten hinsichtlich solcher Teile des Materials, die gemeinfrei sind, oder soweit Ihre Nutzungshandlungen durch Ausnahmen und Schranken des Urheberrechts gedeckt sind.

Es werden keine Garantien gegeben und auch keine Gewähr geleistet. Die Lizenz verschafft Ihnen möglicherweise nicht alle Erlaubnisse, die Sie für die jeweilige Nutzung brauchen. Es können beispielsweise andere Rechte wie Persönlichkeits- und Datenschutzrechte zu beachten sein, die Ihre Nutzung des Materials entsprechend beschränken.

Zur MINT-EC-Schriftenreihe:

Das nationale Excellence-Schulnetzwerk MINT-EC (www.mint-ec.de)
veröffentlicht in dieser Reihe Materialien in den Rubriken

- SCHULE ENTWICKELN
- UNTERRICHT GESTALTEN
- TALENTE FÖRDERN

Der Inhalt dieser Publikationen wird gespeist aus den vielfältigen Aktivitäten des Netzwerks und seiner Netzwerkschulen sowie Impulsen aus Wissenschaft und Forschung. Erfahrungen, Ideen, Konzepte sollen zum Nachmachen anregen!

Kommentare und Anregungen senden Sie gern an:
schriftenreihe@mint-ec.de

Bisher in der MINT-EC-Schriftenreihe erschienene Titel findet man auf unserer Webseite:
<https://www.mint-ec.de/mint-ec/mediathek/schriftenreihe/>

Impressum

Herausgeber: Verein MINT-EC®
Verantwortlich: Dr. Niki Sarantidou
Koordination: Regina Wilkens
Gestaltung Innenteil: Stefanos Papachristopoulos
Gestaltung Umschlag: www.rohloff-design.de
Foto Titelseite: © Andreas Kral

MINT-EC®, MINT-EC-Zertifikat®
und MINT-EC-SCHULE® sind
geschützte Marken des Vereins
mathematisch-naturwissenschaftlicher
Excellence-Center an Schulen e. V.

Stand: Berlin, Dezember 2023



Das nationale
Excellence-Schulnetzwerk

MINT-EC

E-Mail: info@mint-ec.de

-  @MINTECnetzwerk
-  @mint_ec
-  @mint_ec_netzwerk
-  @mint-ec



www.mint-ec.de

Gefördert von:

SIEMENS | Stiftung



9 783945 452196

ISBN-Nummer: 978-3-945452-19-6