KOMMS Reports Nr. 16 (2022)

Reports zur Mathematischen Modellierung
in MINT-Projekten in der Schule

Mathematische Modellierungswoche Dezember 2021

Martin Bracke, Nicolas Fröhlich, Lynn Knippertz, Stefan Ruzika, Luca Schäfer, Lisa Schneider, Corinna Zurloh

Kofinanziert von der
Europäischen Union

1 Die Felix-Klein-Modellierungswoche

Seit 1993 veranstaltet der Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern jährlich die mathematischen Modellierungswochen. Die Veranstaltung erwuchs parallel zu der steigenden Relevanz angewandter mathematischer Forschungsgebiete, wie der Technomathematik und der Wirtschaftsmathematik. Sie soll dazu dienen, Schülerinnen und Schülern die Bedeutung mathematischer Arbeitsweisen in der heutigen Berufswelt, insbesondere in Industrie und Wirtschaft, begreifbar zu machen. Darüber hinaus bietet die Modellierungswoche den teilnehmenden Lehrkräften einen Einblick in die Projektarbeit mit offenen Fragestellungen im Rahmen der mathematischen Modellierung.

1.1 Partner und Finanzierung

Seit 2014 wird die Modellierungswoche vom Kompetenzzentrum für Mathematische Modellierung in MINT-Projekten in der Schule (KOMMS) organisiert, welches im selben Jahr gegründet wurde. Seit 2015 ist die Veranstaltung ein Teil des Projekts Schulentwicklung für mathematische Modellierung in MINT-Fächern (SchuMaMoMINT) und wird durch den Europäischen Sozialfonds (ESF), das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM), die TU Kaiserslautern sowie den Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern finanziert. In diesem Zusammenhang gab es auch eine inhaltliche Weiterentwicklung der Modellierungswoche, innerhalb dessen der Aspekt einer Lehrkräftefortbildung stärker in den Vordergrund rückte.

Bereits zuvor war das Fraunhofer ITWM ein wichtiger Kooperationspartner und war an der Gestaltung der mathematischen Modellierungswoche wesentlich beteiligt. Im Jahr 2008 gründeten der Fachbereich Mathematik der TUK und das ITWM den Verein *Felix-Klein-Zentrum für Mathematik*, um die gemeinsamen Aktivitäten besser steuern zu können. Die Modellierungswoche wurde daraufhin in Felix-Klein-Modellierungswoche umbenannt.

1.2 Zielgruppe und Intention

Die Veranstaltung richtet sich an Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe in Rheinland-Pfalz, die ein außerordentliches Interesse an Mathematik und MINT-interdisziplinärem Arbeiten haben. Begleitet werden diese von Lehrkräften oder Referendaren ihrer Schule, welche die Projektarbeit beobachten und die Projektleiter bei der fachlichen Betreuung der Gruppen unterstützen.

Ziel ist es, sowohl bei den Schülerinnen und Schülern, als auch bei den Lehrkräften ein Bewusstsein dafür zu schaffen, wie das Arbeiten mit offenen Fragestellungen gelingen kann. Das KOMMS möchte dabei Wege aufzeigen, wie der Unterricht in den MINT-Fächern durch Konzepte wie *Forschendes Lernen* und *Eigenverantwortliche Projektarbeit* weiterentwickelt und bereichert werden kann.

1.3 Format und Durchführung

Die Modellierungswoche findet üblicherweise in Jugendherbergen in Rheinland-Pfalz statt. Zu Beginn werden am Sonntag Abend die Teilnehmer auf die verschiedenen Projektthemen aufgeteilt. Von Montag Morgen bis Donnerstag Abend wird inhaltlich gearbeitet. Am Freitag endet die Veranstaltung mit der Präsentation der Ergebnisse.

Meist wird jede Projektgruppe von einer Mitarbeiterin oder einem Mitarbeiter der TU Kaiserslautern sowie einer Lehrkraft betreut. Dabei haben die Schülerinnen und Schüler jedoch viele Freiheiten, sich selbst zu organisieren und auch den Arbeitsrhythmus zu gestalten.

Eine wesentliche Komponente dabei ist die Arbeitsumgebung in der Jugendherberge oder einer vergleichbaren Tagungseinrichtung:

- Jede Projektgruppe arbeitet in ihrem eigenen Seminarraum.
- In den Pausen trifft man sich mit den anderen Gruppen, so dass es einen inhaltlichen Austausch gibt.
- Es gibt wenige Faktoren, die vom Arbeitsthema ablenken; selbst abends arbeiten viele Gruppen noch an ihren Projekten weiter.

1.4 Digitale Durchführung in Pandemiezeiten

Aufgrund der stark ansteigenden Infektionszahlen während der Omikron-Welle wurde kurzfristig die Entscheidung getroffen, die als Präsenzveranstaltung in der Jugendherberge Hochspeyer geplante Modellierungswoche als digitale Veranstaltung durchzuführen. Dieses Angebot wurde erfreulicherweise von insgesamt 29 Schüler:innen aus sechs Schulen angenommen, die in einem etwas verkürzten Zeitraum vom 06. bis 09. Dezember 2021 an fünf unterschiedlichen Modellierungsprojekten arbeiteten.

Um die Arbeitsabläufe in den Modellierungsteams etwas zu vereinfachen, arbeiteten dabei mit Ausnahme von einem Projekt, in dem die Teilnehmenden aus zwei unterschiedlichen Schulen kamen, nur Schüler:innen einer Schule gemeinsam an ihrer Fragestellung. Die Projekte wurden den Teilnehmenden im Vorfeld mit Hilfe von kurzen Beschreibungen und Kurzvideos der Problemsteller:innen des KOMMS vorgestellt und jedes Team durfte zwei Favoriten für die Bearbeitung benennen. Es konnten bei der Zuteilung alle Wünsche berücksichtigt werden und zusätzlich war es auch möglich, die Arbeitszeiten so anzupassen, dass die Teilnehmenden an wichtigen schulischen Verpflichtungen (etwa Kursarbeiten) teilnehmen konnten.

Begleitend gab es einen Kurs innerhalb der Lernplattform *OLAT* der TUK, über die Materialien ausgetauscht und Videokonferenzen zur Diskussion von Zwischenergebnissen durchgeführt werden konnten. Außerdem gab es eine kleine Einführungsveranstaltung am 09. Dezember sowie die Abschlusspräsentationen aller Teams am letzten Tag der Veranstaltung, beides ebenfalls in Form einer Videokonferenz. Treffen der Teams mit den Projektbetreuenden des KOMMS wurden individuell und flexibel über den gesamten Zeitraum durchgeführt.

2 Themenauswahl

Für die Modellierungswoche hatte sich das Team des KOMMS für das Oberthema *Wetter & Katastrophenschutz* entschieden. Die Themen der einzelnen Projekte lauteten dabei

1. Extremwetterereignisse vs. Klimawandel
2. Wetterverschiebungen – Verschieben sich die Jahreszeiten?
3. Außer Kontrolle: Vulkanausbrüche
4. Wie muss ein Gebäude evakuiert werden?

5. Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung einer Regenwassersammelanlage

Beim Thema **Extremwetterereignisse vs. Klimawandel** ging es um die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen den in jüngster Vergangenheit immer häufiger auftretenden extremen Wetterereignissen wie Überschwemmungen, Stürmen und Dürreperioden und dem Klimawandel gibt. Aufgrund der großen Datenmenge, die zu diesem Thema verfügbar ist, liegt eine Herangehensweise mit Methoden der Statistik nahe.

Mit einer auf den ersten Blick ähnlichen Fragestellung beschäftigte sich das Projekt **Wetterverschiebungen – Verschieben sich die Jahreszeiten?**, doch hier lag der Fokus tatsächlich an anderer Stelle: Wir haben den Eindruck, dass wir immer häufiger Wetterlagen erleben, die untypische für die entsprechende Jahreszeit sind. Das bedeutet außergewöhnlich milde Temperaturen zur Weihnachtszeit, über lange Zeit ausbleibenden Regen im Frühjahr oder Wintereinbrüche im Sommer. Liegen hier Ausnahmen vor, oder gibt es Trends, die unseren traditionellen Vorstellungen zu den einzelnen Jahreszeiten widersprechen? Auch hier bietet die Statistik inhaltlich passende Methoden zur Modellierung und Analyse.

Im Projekt **Außer Kontrolle: Vulkanausbrüche** bestand die Aufgabe darin, sich mit Prognosen zu beschäftigen, die im Zusammenhang mit Vulkanausbrüchen beim Schutz der Bevölkerung hilfreich sein können. Bei der Spezialisierung auf die Simulation des Lavaflusses, mit der sich das Projektteam letztlich beschäftigte, spielten physikalisches Hintergrundwissen und numerische Methoden eine wichtige Rolle.

Bei der Aufgabe **Wie muss ein Gebäude evakuiert werden?** ging es darum, Prozesse und Verhaltensweisen zu analysieren, die bei der Evakuierung von Gebäude von Bedeutung sind. In diesem spannenden Forschungsgebiet kommen Methoden und Konzepte aus Mathematik, Informatik, Physik – aber auch aus der Psychologie und der Soziologie – zum Einsatz, was ein hohes Maß an interdisziplinärem Denken und Arbeiten erfordert. Die dabei vom Modellierungsteam betrachteten Situationen konnten mit Hilfe der Software *Vadere* simuliert werden, so dass für verschiedene Szenarien der Einfluss unterschiedlicher Parameter und Strategien untersucht werden konnte.

Die Gruppe **Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung einer Regenwassersammelanlage** hatte zur Aufgabe, mit Hilfe eines geeigneten Modells die Planung einer Anlage zur Nutzung von Regenwasser zu unterstützen. Dabei lag der Fokus insbesondere auf der Entwicklung eines konkreten Produkts, einer Entscheidungshilfe, mit der Hausbesitzer bei der individuellen Planung einer solchen Anlage beraten und unterstützt werden. Neben Hintergrundwissen zum Thema *Gartenbewässerung* waren hier auch stochastische Überlegungen vonnöten, um den nichtdeterministischen Einfluss des Wetters möglich gut zu berücksichtigen.

3 Ergebnisse der Projektgruppen

3.1 Extremwetterereignisse vs. Klimawandel

3.1.1 Problemstellung

Wetter- und Klimaextreme äußern sich immer wieder durch Hitzewellen, Dürreperioden als auch durch Fluten nach Starkregen. Wenn man sich die Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im Juli 2021 anschaut, dann verdeutlicht dieses Ereignis, dass solche Naturkatastrophen zu erheblichen Schäden und zum Verlust von Menschen-

leben führen können. Durch Starkregen sind die Wasserstände der Flüsse in Rekordhöhe gestiegen und ganze Ortschaften wurden überflutet und teilweise ganz zerstört.
Auch das andere Extreme, Hitzewellen und Dürreperioden sind in den letzten Jahren vermehrt beobachtet worden: In Deutschland hat es kaum geregnet. Fast im gesamten Land sind die Böden zu trocken. Solch eine Trockenheit kann zu massivem Baumsterben führen und das bedroht langfristig unser Ökosystem.
Oft wird der Eindruck vermittelt, dass – regional als auch global – immer öfter solche Extremwetterereignisse auftreten. Dies wird meist in einem Atemzug mit dem *Klimawandel* genannt. Doch stimmt das so? Haben denn überhaupt in letzter Zeit extreme Wetterereignisse zugenommen? Die Frage, die im Rahmen dieses Projektes mithilfe mathematischer Methoden beantwortet werden soll, lautet:

Gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen den immer häufiger auftretenden Wetterereignissen und dem Klimawandel?

Falls ein Zusammenhang zwischen den extremen Wetterereignissen und dem Klimawandel gezeigt werden kann, ist es natürlich auch interessant zu wissen, ob anhand der bestehenden Daten vorausgesagt werden kann, ob solche Wetterextreme in Zukunft häufiger auftreten werden.

3.1.2 Vorüberlegungen

Eine Frage, die in diesem Projekt nachgegangen werden sollte, ist: Ab wann spricht man von einem „extremen“ Wetterereignis? Neben der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines solchen Ereignisses ist auch wichtig zu wissen, ob es einen bestimmten Grenzwert gibt, ab dem man ein solches Ereignis als extrem bezeichnet.
Da in diesem Projekt auch der Klimawandel eine wichtige Komponente ist, ist es außerdem von Relevanz, an welchen Faktoren der Klimawandel festgemacht wird.
Als Grundlage dienen Datensätze, die beispielsweise aus der Datenbank vom Deutschen Wetterdienst (`https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html`) entnommen werden können. Da die Datenbank eine Vielzahl von Datensätzen verschiedenster Orte von Deutschland enthält, soll sich die Gruppe auf einen Ort beschränken und für diesen das Projekt bearbeiten. Je nach Vorkenntnissen der Lerngruppe kann der Datensatz entweder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel, Numbers, . . .) oder in Python aufbereitet werden.
Der Datensatz enthält Wetter- und Klimadaten von jedem Tag seit 1947. Um sich einen ersten Überblick zu verschaffen, sollte aufgelistet, welche Angaben im Datensatz dargestellt sind. Folgende Variablen sollten von der Lerngruppe untersucht werden:

- durchschnittliche Jahrestemperatur
- durchschnittlicher Jahresniederschlag
- maximale und minimale Temperatur innerhalb eines Jahres
- Anzahl der Niederschlagstage innerhalb eines Jahres

Um die Daten je Variable veranschaulicht darzustellen, besteht die Möglichkeit, Balkendiagramme in Python zu erstellen. Somit kann jede Variable ausgewertet werden und nach Extremen untersucht werden. Genaue Datenwerte lassen sich im Datensatz nachlesen.

3.1.3 Ergebnisse

Zu Beginn der Veranstaltung erarbeiteten sich die Schüler:innen die notwendigen Kompetenzen zum Einlesen und Verarbeiten von externen Datenquellen in der Programmiersprache Python.
Im Anschluss wurden die zu untersuchenden Daten auf der Homepage des deutschen Wetterdienstes identifiziert und zur weiteren Analyse mit Hilfe von Jupyter Notebooks gesichert.

Einbinden des Datensatzes (Wetterdaten des DWD aus Mannheim seit 1947)

```
In [100]: df = pd.read_csv('Daten Mannheim/mannheim.txt', delimiter=';', parse_dates=['MESS_DATUM'], index_col='MESS_DATUM')

In [101]: df.replace(-999, np.nan, inplace=True)

In [102]: df.tail()
```

Out[102]:

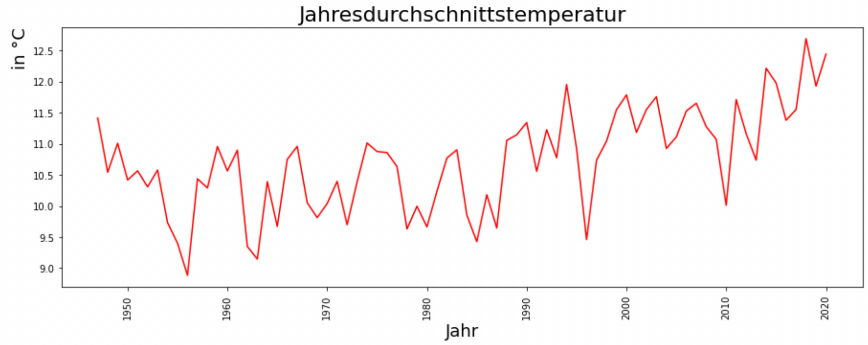
MESS_DATUM	STATIONS_ID	QN_3	FX	FM	QN_4	RSK	RSKF	SDK	SHK_TAG	NM	VPM	PM	TMK	UPM	TXK	TNK	TGK	eor
2020-12-27	5906	3.0	16.4	5.8	3	4.5	6.0	0.000	0.0	7.8	5.6	986.12	2.3	76.63	5.7	-0.3	-1.1	eor
2020-12-28	5906	3.0	11.5	3.5	3	5.2	6.0	0.050	0.0	7.0	7.5	969.47	4.3	90.04	6.5	1.8	-0.7	eor
2020-12-29	5906	3.0	10.3	4.1	3	0.0	6.0	0.767	0.0	7.7	6.9	979.02	3.7	85.88	5.5	2.5	1.6	eor
2020-12-30	5906	3.0	7.7	3.2	3	2.2	8.0	0.233	0.0	7.5	7.2	992.00	3.8	89.79	5.5	0.6	-1.1	eor
2020-12-31	5906	3.0	10.2	3.2	3	1.3	8.0	0.000	0.0	7.8	6.5	993.51	2.4	89.79	3.4	0.9	-0.2	eor

Im Folgenden wurden verschiedene Faktoren, wie die Jahresdurchschnittstemperatur, die Maximaltemperatur, die Minimaltemperatur, der Jahresniederschlag, etc. im Zeitraum zwischen 1947 und 2020 untersucht. Die Schüler:innen erlernten in diesem Kontext verschie-

Jahresdurchschnittstemperatur

```
In [103]: Jahresdurchschnittstemperatur={}
          for year in df.index.year:
              if year > 1946:
                  dfyear = df[(df.index.year == year)]
                  Jahresdurchschnittstemperatur[year]=dfyear[' TMK'].mean()

In [172]: plt.figure(figsize=(15,5))
          sns.lineplot(x=list(Jahresdurchschnittstemperatur.keys()), y=list(Jahresdurchschnittstemperatur.values()), color='red')
          plt.xticks(rotation=90);
          plt.title('Jahresdurchschnittstemperatur', fontsize=22)
          plt.xlabel('Jahr', fontsize=18)
          plt.ylabel('in °C', fontsize=18, loc='top')
          plt.show()
```



dene Python-Pakete zur Visualisierung von Zeitreihen sowie das Konzept der Regression bzw. Trendlinie kennen.

Zudem wurde recherchiert wie der deutsche Wetterdienst „Hitze-, Regen-, und Eistage“ – sogenannte Extremwetterereignisse – definiert. Auf der Grundlage dieser Recherche schrieben die Schüler:innen ein Programm, das die Anzahl dieser Extremwetterereignisse pro Jahr zählt. Diese Werte wurden dann im Anschluss wieder verglichen und in einer Zeitreihe dargestellt.

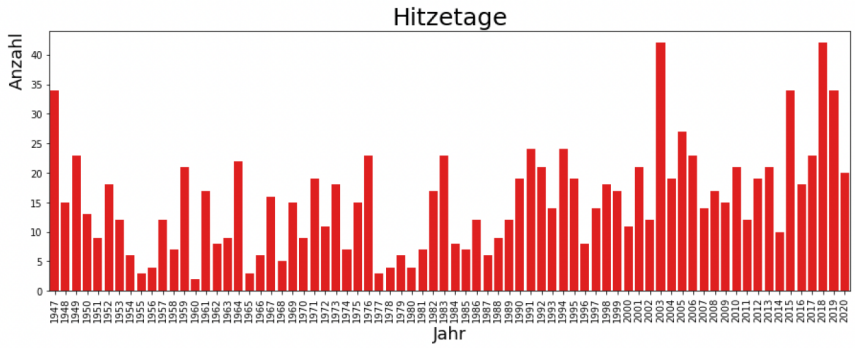
Hitzetage

"Ein Heißer Tag (Hitzetag) ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C beträgt."

Quelle: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=101162 (https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=101162)

In [108]:
```
Hitzetage={}
for year in df.index.year:
    if year > 1946:
        Hitzetage[year] = len(df[(df.index.year==year) & (df[' TXK']>=30)])
```

In [139]:
```
plt.figure(figsize=(15,5))
sns.barplot(x=list(Hitzetage.keys()), y=list(Hitzetage.values()), color='red')
plt.xticks(rotation=90)
plt.title('Hitzetage', fontsize=25)
plt.xlabel('Jahr', fontsize=18)
plt.ylabel('Anzahl', fontsize=18, loc='top')
plt.show()
```



Insgesamt konnte zum Schluss durch Betrachtung von diversen Wetterdaten ein umfassendes Bild über den Klimawandel sowie die Entwicklung von Extremwettereignissen erlangt werden.

3.2 Wetterverschiebungen - Verschieben sich die Jahreszeiten?

3.2.1 Problemstellung

In diesem Modellierungsprojekt soll untersucht werden, wie sich die Jahreszeiten und das Klima in den vergangenen Jahrzehnten verändert haben. Die Intuition vieler besagt, dass die Temperaturen der Monate November und Dezember jüngst viel wärmer als noch vor einigen Jahren sind. Die Schneemenge der vergangenen Jahre ist ungleich dem, was die Großeltern aus ihrer Kindheit erzählen. Der sonst so regenreiche April war in den Jahren 2019 und 2020 einer der regenärmsten Monate. Bei welchen dieser Veränderungen handelt es sich nur um einzelne Ausreißer, hinter welchen dieser Veränderungen lässt sich eine systematische Verschiebung erkennen? Können Prognosen für die Zukunft erstellt werden?

3.2.2 Vorüberlegungen

Als Datengrundlage dienen Wetter- und Klimadaten verschiedenster Messstationen, meist im CSV-Format bereitgestellt zum Beispiel durch den *Deutschen Wetterdienst* (`https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html`) oder

die Webseite *meteostat* (`https://meteostat.net/de/`). Lokale Unterschiede sollen in diesem Projekt keine Rolle spielen, daher werden die Wetterstationen hier individuell betrachtet und ausgewertet. So kann man durchaus auch zu regional unterschiedlichen Schlüssen und Ergebnissen kommen.
Um die Große Menge an Daten maschinell zu verarbeiten, wird hier die Programmiersprache Python genutzt. Verschiedene Methoden eignen sich hier, etwa die Nutzung des Datenverwaltungspakets *pandas* oder eine auf *SQL*-basierende Datenbank. Filter- und Sortiermöglichkeiten bietet deren Funktionsumfang von Haus aus.
Im Rahmen dieses Projektes gilt es, einzelne Ausreißer herauszufiltern und eher auf das Große ganze zu blicken. Der *gleitende Durchschnitt* hilft hier bei der Glättung von Temperatur- oder Niederschlagskurven (vgl. Abbildung 1). Dabei wird jeweils über ein zuvor festgelegtes Zeitfenster (hier: n Datenpunkte) gemittelt, um eine glatte Kurve zu erhalten:

$$m_{\mathrm{MA}}^{(n)}(t) = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x(t-i) \tag{3.1}$$

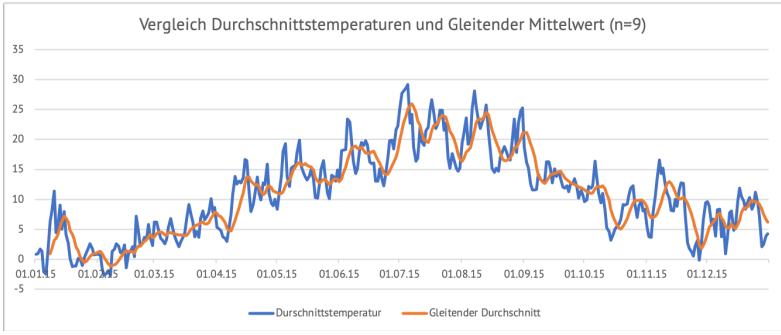


Abbildung 1: Gleitende Durchschnittstemperatur im Jahr 2015.

Neben dem gleitenden Durschnitt helfen auch das Mitteln über mehrere Jahre oder das Berechnen von Monatsmittelwerten, um Ausreißer zu herauszufiltern.

Unterstellt man, dass sich Temperatur- und Niederschlagskurven im Laufe der Zeit linear um eine bestimmte Anzahl an Tagen verschieben, so hilft ein einfaches Optimierungsproblem beim Herausfinden der *wahrscheinlichsten* Verschiebung: Dazu werden die geglätteten Daten von früher (hier um das Jahr 1970) und heute (um das Jahr 2020) übereinandergelegt, wobei eine der beiden Kurven um x Datenpunkte verschoben wird. Durch Iterieren von x über ein geeignetes ganzzahliges Intervall $\{c \in \mathbb{Z} \mid -30 \leq c \leq 30\}$ kann dann die Verschiebung gesucht werden, bei denen die beiden Kurven am besten übereinander liegen (siehe Abbildung 2). Mit dem hier angegebenen Intervall wird unterstellt, dass die Verschiebung maximal 30 Tage nach vorne oder hinten beträgt. Für das Optimierungsproblem bleibt noch zu definieren, welches Maß über die Güte des Äufeinander-Passensëntscheidet. Ein möglicher Ansatz ist, sich die Differenzen der beiden Kurven zu betrachten und beispielsweise nach der Least-Squares-Methode vorzugehen

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i^1 - x_i^2), \tag{3.2}$$

wobei hier x_i^1 die Messpunkte der einen Kurve und x_i^2 die Messpunkte der anderen Kurve bezeichnen.

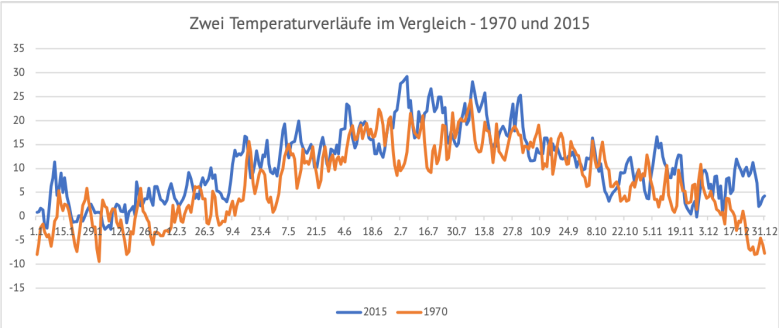


Abbildung 2: Vergleich der Temperaturkurven von 1970 und 2015.

Mittels linearer Regression lassen sich Zukunftsprognosen erstellen - vorausgesetzt, man unterstellt einen linear verlaufenden Anstieg der Temperatur. Dafür notwendige Formeln sind in den gängigen Datenverarbeitungsbibliotheken oder auch Excel enthalten (siehe Abbildung 3).

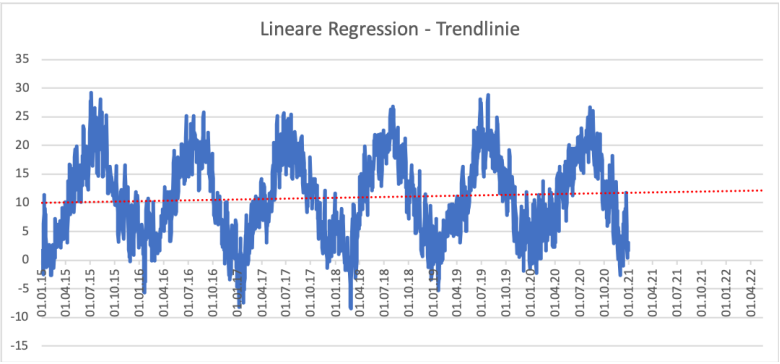


Abbildung 3: Mittels Linearer Regression ermittelte Trendlinie.

3.2.3 Ergebnisse

Die Auswertungen ergaben für die Stadt Frankfurt am Main, dass sich die Sommermonate heutzutage über einen längeren Zeitraum strecken. Darüber hinaus hat sich die Temperaturkurve um etwa 10 Tage nach hinten verschoben. Mittels linearer Regression konnte berechnet werden, dass die Jahresmittelwerttemperatur – lineare Fortentwicklung der Werte vorausgesetzt – in den nächsten 10 Jahren um ganze 3 Grad ansteigt.

3.3 Außer Kontrolle: Vulkanausbrüche

3.3.1 Problemstellung

Ein unvorhergesehener Ausbruch eines Vulkans kann Zehntausende Menschenleben fordern. Wenn Wissenschaftler den Zeitpunkt des nächsten Vulkanausbruchs zuverlässig vor-

hersagen können, könnten Evakuierungen rechtzeitig erfolgen und Schäden gemildert werden.[1]

Vulkanausbruch, Quelle: Thinkstock/Francois Boudrias

Es ist aber genauso wichtig zu wissen, wohin und wie schnell sich die Lavaströme ausbreiten, um die Evakuierungsgebiete möglichst rasch zu bestimmen. Weiterhin stellt sich die Frage, wie viele und welche Partikel ein Vulkan beim Ausbruch ausstößt? Vorhersagen, wie sich die Aschewolken verteilen, sind wichtig für den Luftverkehr. Beim Ausbruch auf La Palma von September bis Dezember 2021 musste der Flughafen zum Beispiel immer wieder wegen Vulkanasche geschlossen werden.[2]

Ein Vulkanausbruch wirft also viele Fragen auf, z.B.

- Wie weit im Voraus lassen sich Ausbrüche vorhersagen?
- Wohin strömt die Lava? Welche Gebiete müssen evakuiert werden?
- Welche Flüge sind durch die Aschewolke gefährdet?

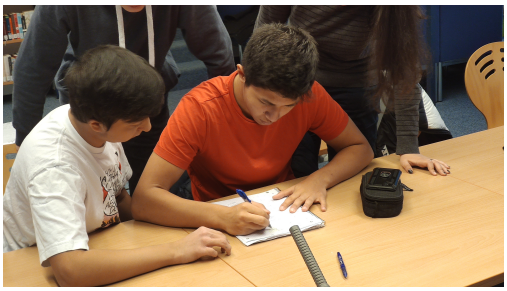
3.3.2 Vorüberlegungen

Gegenwärtig ermitteln Wissenschaftler den Zeitpunkt des Ausbruchs häufig durch die Messung von seismischen Signalen, die auf vulkanische Erschütterungen hinweisen. Dabei ist die seismische Aktivität ein guter Indikator für einen bevorstehenden Ausbruch. Bei einigen Vulkanen verstärken sich diese, wenn die Vulkane erwachen und sich auf den Ausbruch vorbereiten. Leider sind die Muster der Seismizität schwer zu interpretieren. Bei sehr aktiven Vulkanen lassen sich mit den derzeitigen Ansätzen Ausbrüche einige Minuten im Voraus vorhersagen, doch versagen sie in der Regel bei längerfristigen Vorhersagen. Vom italienischen Instituto Nazionale die Geofisica e Vulcanologia (INGV) wird ein Datensatz[3] zur Verfügung gestellt, auf den man mathematische Methoden zur Datenanalyse anwenden kann. Ein mögliches Ziel des Modellierungsprojektes ist, den Datensatz zu analysieren und Regel- und Unregelmäßigkeiten zu identifizieren. Mit Methoden des Machine Learning und geeigneten Toolboxen kann man versuchen, Vorhersagen zu treffen.

Aufgrund der vielfältigen Fragen, die ein Vulkanausbruch aufwirft, besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Ausbreitung der Lava zu modellieren. Der Fluss lässt sich mathematisch mit Differentialgleichungen beschreiben, auf deren genaue Formulierung hier verzichtet wird. Dagegen lässt sich die Lösung von Differentialgleichungen mittels Diskretisierung mit dem Computer lösen. In den Ergebnissen ist genaueres dazu illustriert.

[1] https://www.kaggle.com/c/predict-volcanic-eruptions-ingv-oe/overview/description
[2] https://www.tagesschau.de/ausland/europa/la-palma-flugverkehr-101.html
[3] https://www.kaggle.com/c/predict-volcanic-eruptions-ingv-oe/data

Die Bibliothek der Schule war für die Dauer der Modellierungswoche Heimat des Projektteams.



Es wurde auf Papier gearbeitet...

... und mit Hilfe des Computers.

3.3.3 Ergebnisse

Mathematisch handelt es sich beim Austreten der Lava um einen sehr zähflüssigen Fluss, bei dem unter anderem die Abnahme der Temperatur die Fließgeschwindigkeit beeinflusst. Die Schüler haben zunächst einige vereinfachende Annahmen getroffen. Die Simulation wurde nur im Zweidimensionalen, d.h. für einen Schnitt durch den bergförmigen Vulkan gemacht. Die Form des Vulkans wurde dabei idealisiert und die Ausbreitung der Lava wurde für diskrete Streckenabschnitte bestimmt, vgl. Abbildung 4. Am Austrittspunkt oben fließt eine konstante Menge Lava raus, die von einer zur nächsten Streckeneinheit Geschwindigkeit verliert ($v_0, v_1, \ldots$). Die Menge Lava, die vom nullten in das erste Segment fließt, ist daher durch den Quotienten $q_1 := \frac{v_1}{v_0}$ gegeben. Insgesamt erhielten die Schüler für jeden Segmentübergang einen Quotienten $q_i = \frac{v_i}{v_{i-1}}$, $i = 1, \ldots, n$, mit dem eine erste Simulation gestartet wurde, s. Abbildung 5 links. Auf der x-Achse ist dabei die Höhe der Lava dargestellt (Höhe der Rotstufen, ein Punkt ist ein Rotstufensegment).

Mithilfe von historischen Daten aus vergangenen Ausbrüchen wurde das erste Modell weiterentwickelt, sodass auf Basis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten (und den daraus resultierenden Quotienten) der Fluss und die Verbreitung der Lava genauer an historische Daten angepasst wurde. Dabei haben die Schüler*innen insbesondere identifiziert, welche Parameter zur Bestimmung der Geschwindigkeit relevant sind. Darunter waren die Austrittsmenge, Viskosität, Temperatur und Zusammensetzung der Lava.

Es wurden verschiedene Modelle für das Geschwindigkeitsprofil getestet. Darunter waren lineare, quadratische, logarithmische und exponentielle Geschwindigkeitsprofile. Die lineare Abnahme lieferte keine plausiblen Ergebnisse. Die ursprüngliche Funktion für die Geschwindigkeit $v_{quad}(t) = \max(1 - 0.000038t^2, 0)$ wurde abgelöst durch $v_{log}(t) = 1 - \log_2(1 + t/100)$ und $v_{exp}(t) = (0.8 - 0.001t)^t$. Für die Simulation verwendet man dabei

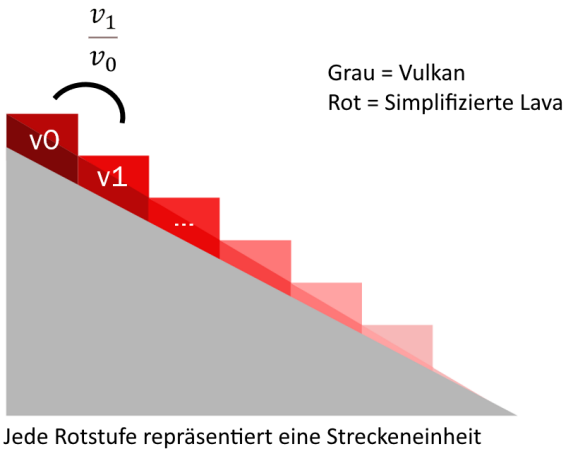


Abbildung 4: Grafik zur Veranschaulichung eines vereinfachten Modells für den Lavafluss.

jeweils $v_0 = v(0), v_1 = v(1), \ldots, v_n = v(n)$. Die resultierenden Lavastromhöhen sind in Abbildung 5 zu sehen. Dabei visualisiert die Farbe der Segmente die Temperatur der Lava, die üblicherweise von $1200°C$ auf $500°C$ abnimmt.

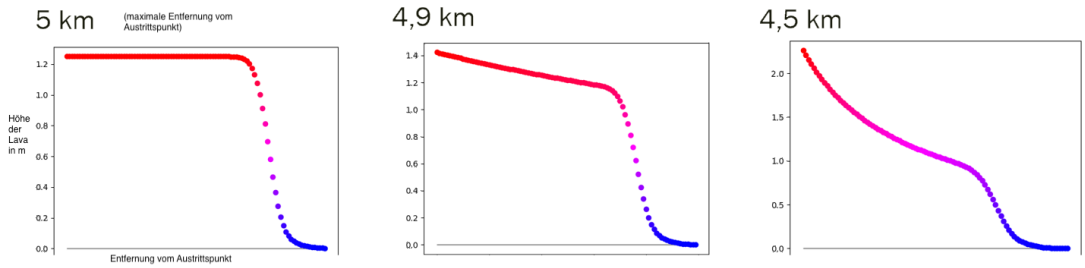


Abbildung 5: Ergebnisse für verschiedene Geschwindigkeitsprofile: v_{quad} quadratisch (links), v_{log} logarithmisch (mitte), v_{exp} exponentiell (rechts).

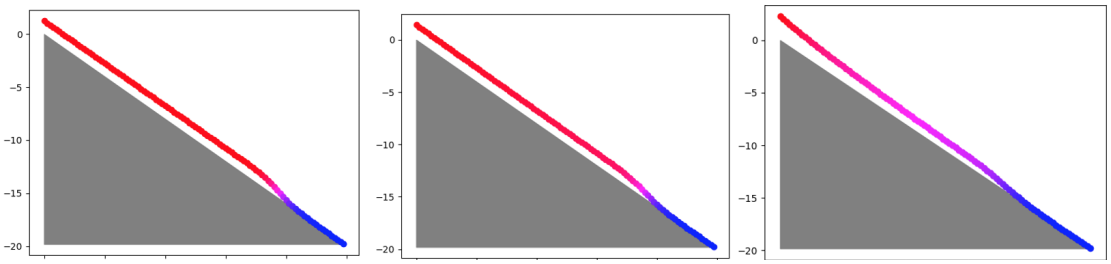


Abbildung 6: Ergebnisse aus Abbildung 5 am Vulkan dargestellt.

Insbesondere das letzte Modell mit der exponentiellen Geschwindigkeitsabnahme hat gezeigt, dass die Simulationsergebnisse gut zu historischen Erfahrungswerten passen. Es wurden sogar Kurzvideos erzeugt, die die Verbreitung der Lava dynamisch darstellen. Zum Schluss wurden noch einige Ideen gesammelt, wie die bisherigen Simulationen erweitert werden können. Darunter war zunächst die Möglichkeit, dass die Austrittsmenge der Lava nicht konstant eins ist, sondern angepasst werden kann. Das Modell soll auch für verschiedene Lavatypen und komplexere Vulkanformen (nicht-idealer Berg) erweitert werden.

Schlussendlich wurde das Ziel formuliert, die Simulation auf ein 3D-Modell mit Vogelperspektivensicht auf den Vulkan zu erweitern.

3.4 Wie muss ein Gebäude evakuiert werden?

Feueralarmübungen sind Schüler/innen und Lehrpersonen aus der Schule bekannt. Solche Übungen sind wichtig, damit Menschenleben gerettet und Unfälle verhindert werden. Gerade bei sehr großen Menschenansammlungen wie z. B. in einem Stadion sind diese Übungen sehr aufwändig. Deshalb ist es sinnvoll, umfangreiche Szenarien mit Hilfe von Modellen zu simulieren. Dadurch kann der Einfluss verschiedener Parameter auf die Evakuierungszeit untersucht werden. Das Analysieren von Fußgängerbewegungen bei Evakuierungssituationen ist ein ganzes Forschungsgebiet! Psychologen, Soziologen, Verkehrsingenieure, Physiker, Mathematiker und Informatiker bemühen sich alle, die Dynamik einer sich bewegenden Menschenmenge zu verstehen. Leider gibt es für die Dynamik von Menschenmengen kein allgemein akzeptiertes Bewegungsmodell, das Evakuierungssituationen adäquat beschreibt. Im Gegenteil – vielmehr konkurriert eine Vielzahl von Ansätzen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Häufig sind oft nur die Experten eines speziellen Modelltyps in der Lage, die Auswirkungen dieser Eigenschaften auf eine Simulationsstudie zu erfassen.

3.4.1 Problemstellung

Vadere[4] ist eine Software zur Untersuchung von Evakuierungssituationen, die eine Vielzahl an Modellen integriert. Sie wurde von Wissenschaftler/n/innen der Hochschule München entworfen.

Wir möchten im Rahmen dieser Modellierungswoche die Software *Vadere* nutzen, um Evakuierungssituationen zu erforschen und besser zu verstehen.

Folgende Fragen stehen dabei im Mittelpunkt:

- Welche Faktoren beeinflussen Evakuierungssituationen?
- (Wie) Können diese Faktoren mit Vadere untersucht werden?
- Optional: Welche mathematischen Modelle werden in *Vadere* genutzt und wie können diese (einfach) beschrieben werden?

Die Gruppe wurde darüber hinaus auch angehalten, eigenen interessanten Fragestellungen nachzugehen.

3.4.2 Vorüberlegungen

Evakuierungssituationen sind sehr komplex, weil sie von zahlreichen Parametern beeinflusst werden. So ist beispielsweise die Dauer einer Evakuierung u.a. abhängig von der Größe des zu evakuierenden Raums, der Anzahl an Personen, die im Rahmen der Evakuierung den Raum verlassen sollen, individuellem Personenverhalten, der Struktur der Fluchtwege und der Struktur des Raumes. Diese Faktoren können durch Überlegungen zu bisherigen Erfahrungen bei Feueralarmübungen, Videos zu kritischen Evakuierungssituationen herausgearbeitet werden. Auch das mathematische Modell, das die Bewegung der

[4] Kleinmeier, Benedikt; Zönnchen, Benedikt; Gödel, Marion; Köster, Gerta. Vadere: An Open-Source Simulation Framework to Promote Interdisciplinary Understanding Journal Article, In: Collective Dynamics, 4 , 2019.

Personen (im Modell: Agenten) beschreibt, hat einen Einfluss auf die Güte der Simulation. Diese zahlreichen Einflussfaktoren lassen sich am besten untersuchen, indem einfache Szenarien erstellt werden, die gezielt einen Einflussfaktor untersuchen. Die so entstandenen Teilergebnisse werden dann in einem umfangreicheren Modell zusammengefasst.

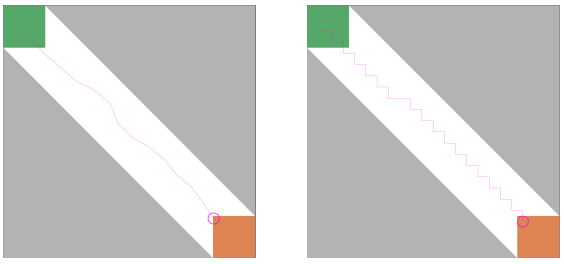
An technischem Aufwand nicht zu unterschätzen ist die Installation und das Kennenlernen der für die Schülergruppe fremden Software *Vadere*, die aktuell auch kein Handbuch zur Verfügung stellt.

Informationen zu den von *Vadere* verwendeten Modellen gibt es aktuell nur in Form von wissenschaftlichen Publikationen (vgl. Kleinmeier et al., 2019[1]). Hier ist gegebenenfalls eine engere Betreuung nötig, um Unklarheiten aufzudecken.

3.4.3 Ergebnisse

Die Schülergruppe machte sich zunächst mit der Software *Vadere* vertraut und las sich in die mathematischen Modelle ein, die von der Software verwendet werden. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Gruppe beim Lesen der fachwissenschaftlichen Veröffentlichung von Kleinmeier et al. (2019) fast ohne Hilfestellungen auskam. Zur Präsentation der Ergebnisse nutzte die Gruppe ein Miroboard. Dieses digitale Board diente der Gruppe auch zur Dokumentation der Ergebnisse. Die folgenden Abbildungen sind diesem digitalen Board entnommen.

In einem ersten Schritt wurden die beiden zentralen Modelle Zellularautomat und Optimal Steps Modell (OSM) miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 zusammengefasst. Die Gruppe identifizierte OSM als realistischeres Modell von beiden, da sich hier die Agenten in alle Richtungen frei bewegen können. Im Modell des Zellularautomaten ist nur eine Bewegung entlang der Zellen möglich. Diese unterschiedlichen Bewegungsmuster bewirken auch Unterschiede in der Evakuierungszeit. Die Gruppe maß im Zellularautomaten bei Nutzung identischer Szenarien eine um 35,89% höhere Evakuierungszeit als im OSM.



Optimal Steps Model: t = 10,67 s

Zellularautomat: t = 10,67 s

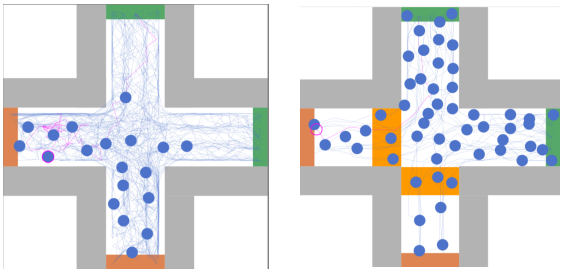
Abbildung 7: Ein Agent bewegt sich in unterschiedlichen mathematischen Modellen von Start (grün) zu Ziel (orange).

Danach untersuchte die Schülergruppe vier weitere Faktoren und deren Abhängigkeit von der Evakuierungszeit:

- Verhalten von Agenten bei Kreuzungen und entgegen gerichteten Fluchtwegen,
- Durchgangsbreite,
- Agentenmenge,

- Länge des Fluchtweges.

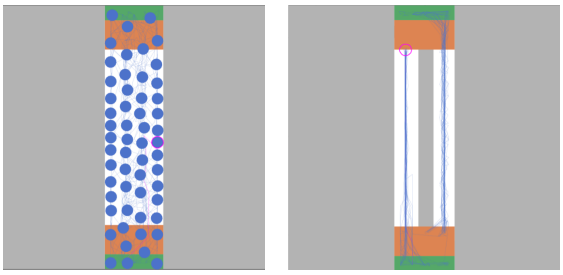
Zur Untersuchung des Agentenverhaltens bei Kreuzungen verglich die Gruppe Kreuzungssituationen (vgl. Abb. 8). In Abbildung 8 (links) bewegen sich die Agenten von grünen Startpunkten zu entgegen gerichteten Zielpunkten. Hierbei stürzte das Programm aufgrund zu hoher Evakuierungszeiten ab, Agenten wurden abgedrängt und es entstand Stau. In einer verbesserten Version in Abbildung 8 (rechts) wurden zusätzliche Zielbereiche für abgedrängte Agenten ergänzt. Dadurch konnte die Evakuierungszeit verringert werden.



$t > 223{,}8$ s $\qquad$ $t = 58{,}8$ s

Abbildung 8: Agenten bewegen sich in unterschiedlichen Kreuzungssituationen von Start (grün) zu Ziel (orange).

Die Untersuchung gegenläufiger Fluchtwege ergab eine Verkürzung der Evakuierungszeit durch Einführung von Begrenzungen (vgl. Abb. 9). Insgesamt stellte die Gruppe fest, dass Kreuzungen vermieden werden sollten, eine gute Fluchtwegbeschilderung essenziell ist und mit Begrenzungen gearbeitet werden sollte, um die Evakuierungszeit möglichst gering zu halten.



$t > 500$ s $\qquad$ $t = 73{,}4$ s

Abbildung 9: Agenten bewegen sich in gegenläufigen Fluchtwegen von Start (grün) zu Ziel (orange).

In einem nächsten Schritt wurde die Abhängigkeit der Evakuierungszeit von der Durchgangsbreite anhand des Szenarios in Abbildung 10 (links) analysiert. Das Diagramm in Abbildung 10 (rechts) verdeutlicht eine Verkürzung der Evakuierungszeit mit zunehmender Spaltbreite. Die Gruppe folgerte aus dieser Beobachtung, dass Durchgänge zwecks Optimierung möglichst breit gestaltet werden sollten.

Das Szenario in Abbildung 11 (links) wurde verwendet, um die Abhängigkeit der Anzahl der Agenten von der Evakuierungszeit zu untersuchen. Das Diagramm in Abbildung 11 (rechts) zeigt folgenden Zusammenhang: je größer die Agentenmenge, desto größer auch die Evakuierungszeit. Eine Gruppenbildung bzw. Menschenansammlungen sollten möglichst durch zum Beispiel Aufstellen von Pfeilern verhindert werden, um Verstopfungen an

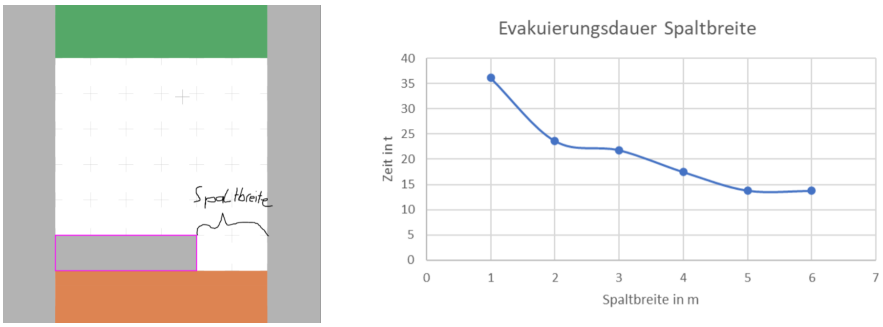


Abbildung 10: Agenten bewegen sich in gegenläufigen Fluchtwegen von Start (grün) zu Ziel (orange).

Durchgängen zu vermeiden.

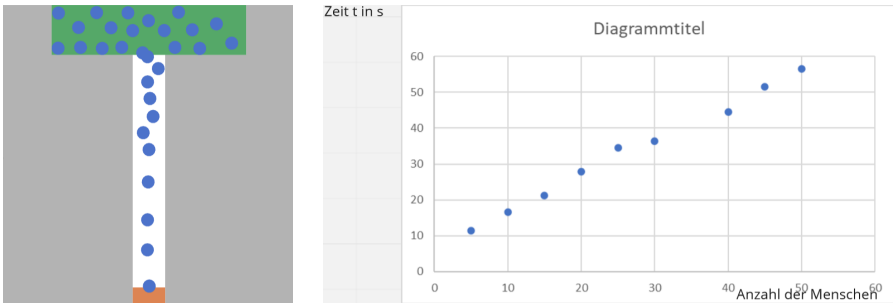


Abbildung 11: Agenten bewegen sich von Start (grün) zu Ziel (orange) (links). Die Evakuierungszeit wurde für unterschiedliche Agentenanzahlen gemessen (rechts).

Die Untersuchung der Länge des Fluchtweges in Abhängigkeit der Evakuierungszeit (vgl. Abbildung 12) ergab, dass Fluchtwege möglichst kurz gewählt werden müssen, um die Evakuierungszeit so gering wie möglich zu halten.

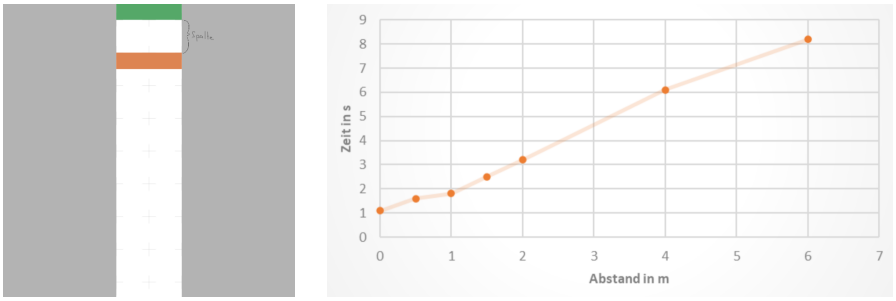


Abbildung 12: Agenten bewegen sich von Start (grün) zu Ziel (orange) (links). Die Evakuierungszeit wurde für unterschiedliche Fluchtweglängen gemessen (rechts).

Die Teilergebnisse aller Untersuchungen wurden in einem umfangreichen Modell zusammengefasst. Dieses Modell wurde einmal ohne und einmal mit Verbesserungen durchgeführt (vgl. Abb. 13). So konnte die Evakuierungszeit erheblich verbessert werden.

Vor allem die strukturierte Arbeitsweise der Schülergruppe und die Fähigkeit, komplexe Probleme in einfache Teilprobleme zu zerlegen, führte zu diesen spannenden Ergebnissen.

Abbildung 13: Finales Modell (oben) mit verbesserter Version (unten).

3.5 Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung einer Regenwassersammelanlage

Ohne Zweifel: Das Klima ändert sich, Niederschläge sind anders verteilt und die Sommer der Jahre 2019 und 2020 zeigen, dass es zu längeren Dürreperioden kommen kann. Zudem war es in diesen Jahren außergewöhnlich warm. Eine nachhaltige Nutzung und ein vernünftiger Umgang mit Wasser ist nicht nur eines der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen (vgl. `https://sdgs.un.org`), sondern auch ein Anliegen von vielen Schüler:innen. Nicht erst seit Fridays For Future sorgen sich junge Menschen um eine Nutzung von Ressourcen, die das eigene Handeln samt seiner Folgen für das Ökosystems reflektiert und dabei das Wohl nachkommender Generationen im Blick hat.

Schüler:innen wissen natürlich, dass ihre Verhaltensweisen, insbesondere bzgl. des Konsums, der Ernährung und der Mobilität Auswirkungen auf die Umwelt haben. Manchmal meinen sie aber, wenig Einfluss auf „die Welt der Erwachsenen“ zu haben: „entscheiden tun dann doch andere“. Hier setzt dieses Projekt an: Schüler:innen werden zu Machern, zu Projektberatern, die anderen dabei helfen, die Ressource Wasser sinnvoll zu nutzen und Entscheidungen auch hinsichtlich monetärer Gesichtspunkte zu treffen. Das Thema „Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung einer Regenwassersammelanlage“ zielt darauf ab, ein Produkt zu erstellen, mit dem Schüler:innen andere beraten können, wie eine Regenwassersammelanlage zu dimensionieren ist.

3.5.1 Problemstellung

Wohl dem Hobbygärtner, der Regenwasser sammeln kann! Regenwassertanks sind da eine überlegenswerte Investition: man nutzt eine natürliche Ressource und schont aufbereitetes Trinkwasser. Regenwasser fällt gratis vom Himmel und solche Tanks übernehmen bei Starkregenereignissen sogar eine Rückhalte- und Speicherfunktion.

Wenn ein Hobbygärtner Regenwasser sammeln möchte, nutzt er dazu üblicherweise Dach-

flächen. Der Regen fällt auf diese Dachflächen, läuft die Dachfläche hinab und tropft am Ende des Dachs in eine Rinne. Von dort wird das Wasser zu einem Fallrohr geleitet, an dem ein Mechanismus das Regenwasser in eine Tonne oder eine Zisterne lenkt, anstatt es dem Kanalnetz zuzuführen.

Trotz aller Vorteile des Wassersammelns ist doch die anfängliche Investition und der Arbeitsaufwand nicht unerheblich. Ein Hobbygärtner steht also vor der wichtigen Frage, wie er die Anlage, insbesondere den Wasserspeicher (z. B. Fässer oder Zisternen) dimensionieren soll. Einerseits möchte er möglichst wenig Geld ausgeben und Arbeitskraft investieren (präferiert also eine kleine Anlage), andererseits soll die Anlage auch ihren Zweck erfüllen. Einige Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung sind dabei abhängig von der jeweiligen Situation, aber im Einzelfall dann doch fest vorgegeben, z.B. die Dachgröße, das Gießverhalten, etc. Andere Faktoren hängen auch von der jeweiligen Situation ab, sind aber keineswegs fest, wie z.B. der Wasserbedarf oder der Niederschlag. Hier gibt es aber immerhin Daten aus der Vergangenheit und man kann vielleicht auch eine Prognose für die grundsätzliche zukünftige Entwicklung zum Niederschlag und Wasserverbrauch abgeben.

In diesem Projekt soll ein einsatzfähiges Produkt entwickelt werden: ein Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung einer Regenwassersammelanlage. Dieses soll die relevanten Einflussgrößen als Eingabe aufnehmen und Empfehlungen zur Planung einer solchen Anlage liefern.

3.5.2 Vorüberlegungen

Die (mathematischen) Zusammenhänge scheinen grundsätzlich sehr einfach: Es regnet, der Speicher füllt sich und man gießt, der Speicher leert sich. Die Crux an der Sache ist, dass Regen sehr variabel und unvorhersehbar fällt und der Speicher „angemessen“ dimensioniert sein soll. In diesem Projekt geht es im Kern also um eine datengetriebene Modellierung unter Unsicherheiten. Der Mindestanspruch ist es, die Planung auf solide mathematische Füße zu stellen: die Entscheidungsunterstützung muss eine feine Abstimmung der Einflussfaktoren und Stellgrößen aufeinander berücksichtigen. Grundlage für die Entscheidungsunterstützung ist eine robuste Lösung dieses Problems, die unterschiedliche Jahresniederschläge berücksichtigt. Eine ausgesprochene Empfehlung muss quantifizierbar gut und nachvollziehbar begründet sein. Darüber hinaus können natürlich gerne noch weitere „Features“ in das Entscheidungsunterstützungssystem einfließen.

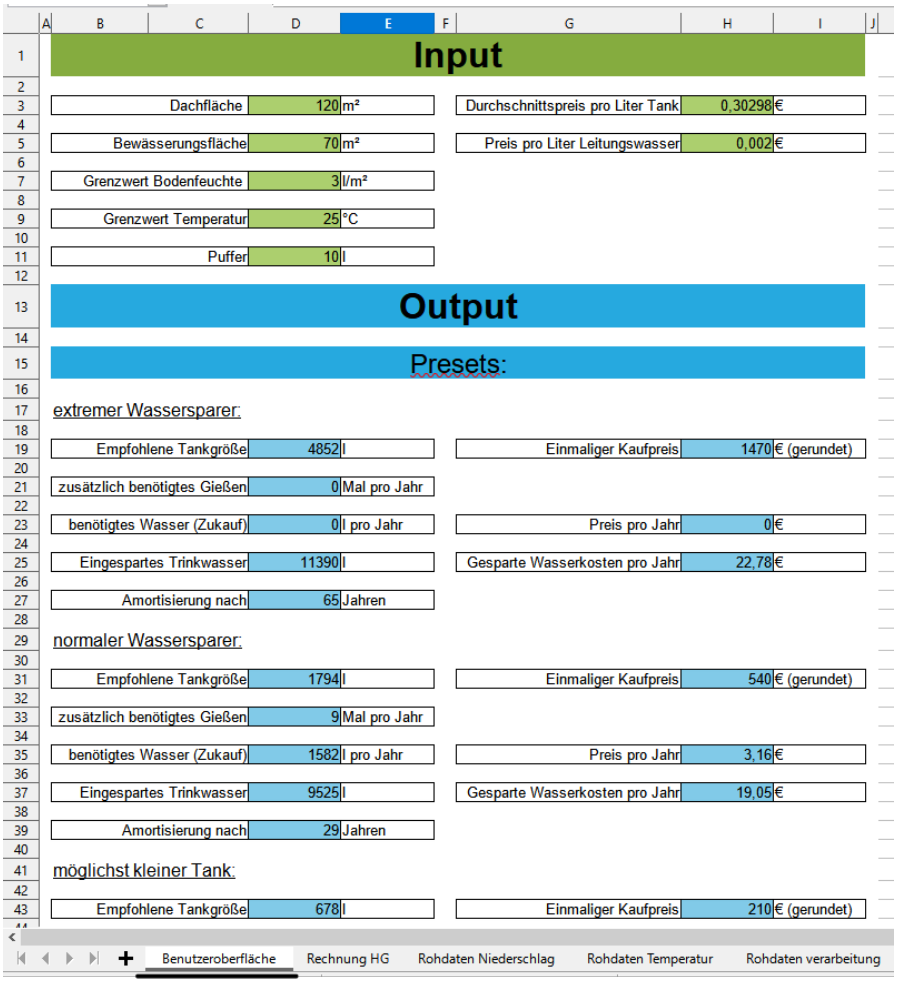
3.5.3 Ergebnisse

Die Schüler:innengruppe verschaffte sich zunächst einen groben Überblick über das Thema, denn allzu viele eigene Erfahrungen hatten sie dazu noch nicht gesammelt. Aus einer initialen Diskussion mit dem Betreuer ging ein Zeit- und Aufgabenplan hervor, der insbesondere aufgrund der Online-Veranstaltung und den damit verbundenen längeren Zeiträumen, in denen die Schüler:innen eigenständig arbeiteten, wichtig war. Dieser Zeitplan wurde bis zum Abschluss des Projekts dann auch tatsächlich verfolgt.

Das mathematische Kernstück der Entscheidungsunterstützung bestand in einer datengetriebenen Simulation, die die Sammelmenge und die Verbrauchsmenge an Wasser erfasst.

Die Sammelmenge war relativ schnell aus der zur Verfügung stehenden Dachfläche und der Niederschlagsmenge pro Quadratmeter berechnet.

In einem ersten längeren inhaltlichen Themenblock wurde (auf einem Miro-Board) ein regelbasiertes System für den Wasserverbrauch erstellt: In Abhängigkeit von Faktoren wie z.B. der Gartengröße, dem Niederschlag vorausgegangener Tage oder der Temperatur am aktuellen Tag wurde entschieden, wann und wie viel gegossen werden musste bzw. wie groß der Wasserverbrauch an einem bestimmten Tag ist. Die Schüler:innen erfassten dieses regelbasierte System in Form eines Entscheidungsbaums, nutzen also eine graphisch-diagrammbasierte Repräsentation des Algorithmus, den sie später umsetzen wollten.



Input							
Dachfläche	120	m²		Durchschnittspreis pro Liter Tank	0,30298	€	
Bewässerungsfläche	70	m²		Preis pro Liter Leitungswasser	0,002	€	
Grenzwert Bodenfeuchte	3	l/m²					
Grenzwert Temperatur	25	°C					
Puffer	10	l					
Output							
Presets:							
extremer Wassersparer:							
Empfohlene Tankgröße	4852	l		Einmaliger Kaufpreis	1470	€ (gerundet)	
zusätzlich benötigtes Gießen	0	Mal pro Jahr					
benötigtes Wasser (Zukauf)	0	l pro Jahr		Preis pro Jahr	0	€	
Eingespartes Trinkwasser	11390	l		Gesparte Wasserkosten pro Jahr	22,78	€	
Amortisierung nach	65	Jahren					
normaler Wassersparer:							
Empfohlene Tankgröße	1794	l		Einmaliger Kaufpreis	540	€ (gerundet)	
zusätzlich benötigtes Gießen	9	Mal pro Jahr					
benötigtes Wasser (Zukauf)	1582	l pro Jahr		Preis pro Jahr	3,16	€	
Eingespartes Trinkwasser	9525	l		Gesparte Wasserkosten pro Jahr	19,05	€	
Amortisierung nach	29	Jahren					
möglichst kleiner Tank:							
Empfohlene Tankgröße	678	l		Einmaliger Kaufpreis	210	€ (gerundet)	

Abbildung 14: Beispielhafte Schülerlösung mit benutzerfreundlicher Umsetzung in einer Tabellenkalkulation

Die benötigten arithmetischen Operationen waren sehr einfach und so entschieden sich die Schüler:innen dafür, eine Tabellenkalkulation für die Realisierung der Simulation zu nutzen: mit Tabellenkalkulationen hatten die Schüler:innen schon Erfahrungen, kamen schnell voran und wussten, wie sie damit einfach und schnell Daten für die Grundlage ihrer Simulationen einbinden konnten.

Danach recherchierte die Gruppe Möglichkeiten, wie frei zugängliche Temperatur- und Niederschlagsdaten aus dem Internet in einem passenden Format effizient so aufbereitet werden konnten, dass sie für die Simulation nutzbar waren. Die Simulation berechnete dann mit diesen Wetterdaten für unterschiedliche Nutzertypen (den Sparfuchs, den Wassersammler und den ausgewogenen Nutzer) unterschiedliche Empfehlungen.

Ein Highlight der Gruppenarbeit war die Erstellung einer recht aufwendig und zugleich ansprechend gestalteten Webseite, die das Entscheidungsunterstützungssystem beinhaltete. Diese Webseite klärte Interessierte über das Thema auf, bot allgemeine Beratung und nach Eingabe spezifischer Daten wurden hierfür passende Empfehlungen für die Dimensionierung einer Regenwassersammelanlage berechnet und graphisch dargestellt. Diese Webseite war im Wesentlichen vollständig funktionsfähig.

Die Schüler:innen stießen bei einer Websuche interessanterweise auf eine Projektseite eines Forschungsprojekts, das eine ganz ähnliche Zielsetzung hatte und wollten die dort veröffentlichten Ergebnisse mit den eigenen Simulationsergebnissen zum Zweck der Validierung vergleichen. Leider hat hierfür die Zeit der Modellierungswoche nicht mehr ausgereicht.