



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„UX-Untersuchung einer rasterbasierten Webapplikation
zum Vergleich globaler Emissionsszenarien mit der
Zielgruppe breite Öffentlichkeit“

verfasst von / submitted by

Christian Golth BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2022 / Vienna, 2022

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it
appears on the student record sheet:

UA 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears
on the student record sheet:

Masterstudium Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Danksagung

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem ehemaligen Arbeitskollegen Franz Gusenbauer, der mich vor Allem im technischen Bereich bei der Programmierung unterstützt und mit Ideen versorgt hat. Mit seinem Wissen zu Datenbanken, GIS und Web Development konnte er mir im letzten halben Jahr stets die richtigen Anstöße geben.

Auch bedanken möchte ich mich bei Herrn Ass.-Professor Dr. Andreas Riedl, meinem Betreuer bei dieser Arbeit, der immer bestrebt war, auftretende Probleme schnell aus dem Weg zu räumen.

Abschließend möchte ich meinen Dank an alle Personen richten, die mich während der Studienzeit unterstützt und in schwierigen Phasen immer wieder ermutigt haben voranzugehen. Mein Bruder ist dabei besonders herauszuheben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	x
Abstract	xi
Kurzfassung	xii
1. Einleitung	1
1.1 Abgrenzung des Themenbereichs	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	6
1.3 Theoretischer Teil	6
1.4 Empirischer Teil	6
1.5 Forschungsfragen.....	7
2. Klima	8
2.1 Klima, Wetter und Witterung	8
2.2 Definition des Begriffs Klima	10
2.3 Die Geschichte der Klimamodellierung	12
2.4 Arten von Klimamodellen	13
2.4.1 Analoge Modelle	13
2.4.2 Energiebilanzmodelle und radiativ-konvektive Modelle	14
2.4.3 Allgemeine Zirkulationsmodelle.....	16
2.5 Klimaberechnung.....	18
2.5.1 Klimafaktoren zur Klimaberechnung.....	20
2.5.2 Externe Klimafaktoren	21
2.5.3 Interne Klimafaktoren (menschengemachte Veränderungen)	23
2.6 Emissionsszenarien	30
2.6.1 Emissionsszenario A1	31

2.6.2 Emissionsszenario A2	32
2.6.3 Emissionsszenario B1	32
2.6.4 Emissionsszenario B2	32
2.6.5 Szenarienvergleich in Zahlen	33
2.7 Meteorologische Extremereignisse	34
2.8 Fazit zur Klimaberechnung	36
3. Kartographische Kommunikation	39
3.1 Kommunikationsmodelle	39
3.2 Beispiele gelungener kartographischer Kommunikation	42
3.3. Digitalisierung und der Wandel kartographischer Kommunikation	44
4. Interaktivität.....	45
4.1 Die Definition des Begriffes Interaktivität	45
4.2 Der Effekt von Interaktivität auf Wissenskommunikation	47
4.2.1 Studie von Herring et al. (2017).....	47
4.2.2 Studie von Lustria (2007).....	49
4.2.3 Studie von Kim & Stout (2010).....	53
5. User Experience.....	57
5.1 Definition des Begriffs User Experience (UX).....	57
5.2 Die theoretische Ebene der User Experience	60
5.2.1 Nutzerfreundlichkeit beziehungsweise Usability	60
5.2.2 UX und Nutzerfreundlichkeit	61
5.2.3 User Centered Design	61
5.3 Konkretisierung des Begriffs User Experience nach Lallemand et al. (2015).....	62
5.3.1 Ergebnisse der Studie von Lallemand et al. (2015).....	63
5.4 Problemfindungsprozess für ein Produkt.....	65
5.5 Heuristische Evaluation.....	68
5.5.1 Heuristische Evaluation in der Praxis	70
5.5.2 Fehlerkategorisierung	71

5.6. Studie von Nivala et al. (2008).....	72
5.6.1 Ergebnisse der Studie von Nivala et al. (2008).....	73
5.6.2 Abgeleitete Designrichtlinien von Nivala	77
5.7 Eye Tracking als wichtiges Instrument für die UX.....	81
5.7.1 Ergebnisse der Studie von Cybulski & Horbinski (2020).....	82
6. Interaktive Anwendungen zum Klimavergleich	84
6.1 Anwendung vom Austrian Institute of Technology und Joachim Ungar.....	84
6.2 Anwendung Climate Change Agriculture and Food Security.....	85
6.3 Evaluation Anwendung Ungar nach den Designrichtlinien von Nivala (2008).....	87
6.3.1 Interface Design	88
6.3.2 Design des Kartenfeldes	89
6.3.3 Weitere Punkte	90
6.3.4 Designrichtlinien für die Suchfunktion.....	90
6.3.5 Behandlung von Fehlern und Fehlermeldungen	91
6.4 Evaluation der Anwendung von Villegas (2008) nach Designrichtlinien von Nivala	91
6.4.1 Interface Design	92
6.4.2 Design des Kartenfeldes	93
6.4.3 Weitere Punkte	94
7. Praktischer Teil.....	95
7.1 Warum eine Interaktive Anwendung zum Klimavergleich?	95
7.2 Ziele für die Anwendung.....	95
7.3 Wahl der Datengrundlage und der technischen Hilfsmittel	98
7.3.1 Wahl der Datengrundlage.....	98
7.3.2 Wahl des GIS Systems.....	99
7.3.3 Wahl der Programmiersprache	100
7.4 Datenaufbereitung in QGIS	101
7.4.1 Isolierung der Rasterkanäle und Zusammenfassung der Zeitperioden	102

7.4.2 Ermittlung der Wertebereiche	105
7.4.3 Erstellung der Klassifizierung und Farbwahl	107
7.4.4 Tiling	109
7.5 Fertige Anwendung	109
7.5.1 Interface der Anwendung	109
7.5.2 Interaktive Funktionen der Anwendung	110
7.6. Probleme beim Erstellen der Anwendung	112
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	115
Literaturverzeichnis	119
Anhang	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Klimasystem und seiner Bestandteile (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S5).....	9
Abbildung 2: The Climate Cube - bestehend aus den drei Bereichen Time, Space und (Human) Perception (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S2).....	10
Abbildung 3: Ferrels Zirkulationsdiagramm und die drei Zirkulationszellen (aus Edwards, 2011, S129).....	12
Abbildung 4: Der Treibhauseffekt (aus Wetterdienst.de, 2021, Online).....	15
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Gitterboxen auf denen finite Berechnung von allgemeinen Zirkulationsmodellen beruht (aus Edwards, 2011, S130)	16
Abbildung 6: Entwicklung der Computer-Rechenleistung nach MIPS (Million Instructions per Second) (aus Tsach et al., 2015, Online).....	19
Abbildung 7: Darstellung der Erdbahnparameter Exzentrizität, Schiefe der Ekliptik und Präzession (aus Brauchli, 2020, online)	21
Abbildung 8: Diagramm der Veränderungen von Schiefe der Ekliptik, Exzentrizität und Präzession (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S24).....	22
Abbildung 9: Entwicklung des Ozonlochs über der Antarktis von 2008 bis 2017 (aus DLR Portal, 2017, online)	24
Abbildung 10: Darstellung des chemischen Ablaufs der Ozon Zerstörung (aus Weltderphysik, 2009, Online).....	25
Abbildung 11: Der Ocean Conveyor Belt (aus University of Hokkaido, 2020, online) ...	28
Abbildung 12: Die Verteilung der Landmassen der Erde vor 180 Millionen Jahren (aus GeoSystemErde, 2016, online)	29
Abbildung 13: Die verschiedenen Emissionsszenarien von Kohlenstoffdioxid (links) und Schwefeldioxid (rechts) im Zeitraum von 1990 bis 2100. (aus Paeth, 2007, S.48).....	33
Abbildung 14: Das Auge des Wirbelsturms Katrina (aus Spiegel, 2005, Online)	35

Abbildung 15: Die vier Einflussfaktoren der doppelten Varianzanalyse (aus Paeth, 2007, S54).....	37
Abbildung 16: Das Sender-Empfänger-Modell nach Shannon & Weaver (1994) (aus Pflegpeter, 2020, S85).....	39
Abbildung 17: Kartographisches Kommunikationsmodell nach Kolacny (aus Pflegperter, 2020, S59)	40
Abbildung 18: Informationsvergleich einer Karte mit einem Luftbild derselben Fläche (aus Bräuchli, 2001, S114).....	43
Abbildung 19: Das "Internet of Things" mit den dazugehörigen interaktiven Medien (aus Donau Universität Krems, 2017, Onlie)	46
Abbildung 20: Lineare versus nicht lineare Textstruktur (aus Abplanalp, 1997, online)52	
Abbildung 21: Normans Door als sinnbildliche Darstellung des Nutzens von User Experience (aus Maioli, 2018, S8).	58
Abbildung 22: Gegenüberstellung: gutes und schlechtes UX Design (aus W3 Labs, 2021, Online).....	59
Abbildung 23: Unterscheidung von UX und Usability (aus Johner Institut, 202, Online)60	
Abbildung 24: Der Prozess User Centered Design (aus IONOS, 2019, Online)	61
Abbildung 25: Das Interesse der Studienteilnehmer zum Thema UX (aus Lallemand et al., 2015, S.39).....	62
Abbildung 26: Auflistung der 23 Aussagen zum Konzepts UX und die zugehörige Zustimmung der Probanden (aus Lallemand et al., 2015, S40)	64
Abbildung 27: Die 5 Definitionen von UX die den Probanden vorgeschlagen wurden (aus Lallemand et al., 2015, S37).....	64
Abbildung 28: Priorisierungshilfe für Fehlertypen (aus Maioli, 2018, S31).....	72

Abbildung 29: Die räumliche Anordnung der Fixationen der Blicke der Probanden (OSM links und GM rechts) (aus Cybulski & Horbiński 2020, S9).....	82
Abbildung 30: Climate Twins Applikation vom AIT (aus Ungar, 2011, S43)	85
Abbildung 31: Die von Villegas et al. (2001) veröffentlichte Anwendung zum Finden von Climate Analogues (aus CGIAR, 2021).....	87
Abbildung 32: Die Climate Analogues Anwendung von Villegas et al. (2008) (aus CGIAR 2020).....	92
Abbildung 33: Ergebnis der Climate Analogues Suche von der Anwendung von Villegas et al. (2008) (aus CGIAR, 2020).....	93
Abbildung 34: Die Auswahl an beziehbaren "Future Climate Data" in verschiedenen Auflösungen (aus worldclim.org: 2021: Online)	102
Abbildung 35: Die Subtraktion der Rasterkanäle 1 bzw. 12 wurde mittels Raster Calculator Tool in QGIS durchgeführt.....	104
Abbildung 36: Histogramme der Niederschlagswerte der vier Emissionsmodelle (126, 245, 370, 585)	105
Abbildung 37: Histogramme der Temperaturwerte der vier Emissionsmodelle (126, 245, 370, 585).....	106
Abbildung 38: Farbabstufung der für die Anwendung verwendete Darstellung der Temperaturdaten	108
Abbildung 39: Farbabstufung der für die Anwendung verwendete Darstellung der Niederschlagsdaten.....	108
Abbildung 40: Tiling Directory – Ordnerstruktur der acht getilten Rasterbilder	109
Abbildung 41: Aufbau des Interface der Anwendung	110
Abbildung 42: Vergrößerungsfunktion der Kartenfelder	111
Abbildung 43: Mapsync Funktion	112

Abbildung 44: Zoom Funktion und Layer Menü 112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen Emissionsszenarien (eigene Darstellung)	34
Tabelle 2: Bewertung der in Phase 1 der heuristischen Evaluation gefundenen Fehler (aus Maioli, 2018, S32)	71
Tabelle 3: Die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten zur Climate Twin Berechnung in Ungars Anwendung (eigene Erstellung).....	84
Tabelle 4: Wertevergleich der Histogramme der für die Anwendung verwendeten Temperatur- und Niederschlagswerte (eigene Erstellung).....	107

Abkürzungsverzeichnis

GM	.....	Google Maps
OSM	.....	Open Street Map
MQ	.....	Map Quest
MD	.....	MSN Maps & Directions
MM	.....	Multimap
GUI	.....	Graphical User Interface
UX	.....	User Experience
UI	.....	User Interface
TC	.....	time to first click
HCI	.....	Human - Computer - Interaction
FCKW	.....	Fluorchlorkohlenwasserstoff
RCM	.....	Regional Climate Model
GCM	.....	General Circulation Model
UCD	.....	User Centered Design
EBM	.....	Energiebilanzmodell
NWP	.....	Numeric Weather Prediction
MIPS	.....	Million Instructions/Second
MFLOPS	.....	Float. Point Operations/Second

Abstract

Recent approaches in climate research postulate that, among other things, the population's own commitment in the fight against climate change will have a decisive influence on how strong its effects on our planet will be in the future. This can be strengthened by raising awareness of the problems of climate change among the population. The main problem here is that the effects of global warming cannot be experienced directly by most people - in their own bodies, so to speak. As a result, there is little or no direct engagement with the issue. This thesis therefore deals with the question of how this experience can be strengthened for society. Research on this topic has shown that one way to achieve this goal is to use interactive media on climate change. In psychology, it is assumed that the emotional involvement in a topic increases with increasing initiative to engage with it. Interactive media allow the user to explore a map with a variety of functions and thus increase their interest, which leads to increased initiative. Of great importance is that the application is simple in structure and thus does not fail to achieve the goal of raising awareness for the user from the general public. To ensure this, UI and UX criteria will be examined.

Given that there is currently no simply designed interactive application on the topic of climate change in the form of a web map that enables the user to do just that, the aim of this work is to develop a proposal for what such a map could look like on the internet.

Kurzfassung

Neuere Ansätze in der Klimaforschung postulieren, dass unter anderem das Eigenengagement der Bevölkerung im Kampf gegen den Klimawandel in Zukunft maßgeblichen Einfluss darauf haben wird, wie stark dessen Auswirkungen auf unseren Planeten sein werden. Dieses kann durch Bewusstseinsbildung zu den Problemen des Klimawandels bei der Bevölkerung verstärkt werden. Hauptproblem dabei ist, dass die Auswirkungen der Erderwärmung für die meisten Menschen nicht unmittelbar - sozusagen am eigenen Leib - erlebbar sind. Das führt dazu, dass es keine oder wenig direkte Auseinandersetzung mit dem Thema gibt. Diese Arbeit beschäftigt sich deshalb mit der Frage wie dieses Erleben für die Gesellschaft gestärkt werden kann. Forschungen zu diesem Thema haben gezeigt, dass eine Möglichkeit dieses Ziel zu erreichen die Verwendung von interaktiven Medien zum Thema Klimawandel ist. In der Psychologie wird davon ausgegangen, dass das emotionale Involvement zu einem Thema mit erhöhter Eigeninitiative sich damit auseinanderzusetzen ansteigt. Interaktive Medien lassen den/die Nutzer/In eine Karte mit verschiedensten Funktionen erkunden und steigern so dessen Interesse, was zu eben dieser erhöhter Eigeninitiative führt. Von großer Bedeutung ist, dass die Anwendung einfach aufgebaut ist und somit das Ziel der Bewusstseinsstärkung für den/die Anwender/In aus der breiten Öffentlichkeit nicht verfehlt. Um dies zu gewährleisten, werden UI- und UX-Kriterien untersucht.

Vor dem Hintergrund, dass es aktuell keine, einfach ausgestaltete interaktive Anwendung zum Thema Klimawandel in Form einer Webmap gibt, die dem/der Nutzer/In genau das möglich macht, ist es Ziel dieser Arbeit, einen Vorschlag auszuarbeiten, wie eine solche Karte im Internet aussehen könnte.

1. Einleitung

In Kapitel 1 wird umrissen, was die Thematik der Arbeit ist und welche Relevanz das Thema im derzeitigen wissenschaftlichen Umfeld genießt. Darauf folgend wird der theoretische Teil inhaltlich angeschnitten und erklärt, was im empirischen Rahmen dieser Arbeit entstehen soll. Kapitel 1 wird mit der Formulierung der Forschungsfragen abgeschlossen.

1.1 Abgrenzung des Themenbereichs

“There is a deep disconnect between scientific and public concern about climate change” (Veloz et al., 2012, S. 1037).

Für diese Kluft zwischen der Besorgnis über den Klimawandel in der wissenschaftlichen Community und der öffentlichen Welt, machen Veloz et al. (2012) die Abstraktheit des Konzepts Klimawandel verantwortlich. Laut ihnen ist sich die Wissenschaft darüber einig, dass der Klimawandel stattfindet und die Menschheit und den Planeten vor große Herausforderungen stellt und stellen wird. Viele Gebiete der Erde zeigen bereits starke Reaktionen auf die im 20.- und 21. Jahrhundert verstärkte Erderwärmung. Deshalb ist es wichtig, Klimaprojektionen übersichtlich zu gestalten und einfach zugänglich für Entscheidungsträger aber besonders auch die breite Öffentlichkeit zu machen. Neue, verbesserte Ansätze in der Kommunikation sollen die Erreichung dieses Ziels möglich machen.

Eine zentrale Herausforderung besteht deshalb darin, die Prognosen zum Klimawandel in lokal konkrete Beispiele für mögliche Auswirkungen zu übersetzen und somit realer und erlebbarer für die Bevölkerung zu machen (Veloz et al., 2012).

Khadka et al. (2020) haben zu diesem Thema eine Studie durchgeführt, welche im Jahr 2020 veröffentlicht wurde. Dabei wurden 29 High-School Student/Innen in der Praire Fork Conservation Area in Missouri zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels an diesem Standort gebildet. Neben einem erstellten Poster, das verschiedene, den Klimawandel begünstigende Aktivitäten darstellte, gab es auch eine geführte Wanderung im Gebiet bei der die Auswirkungen des Klimawandels anhand von Beispielen in der Natur erklärt wurden. Als letzter Schritt wurde eine Liste mit klimafreundlichen Aktivitäten

ausgehändigt, die für die Student/Innen dazu diente, sich selbst bezüglich ihres Klima-Fußabdruckes einzuschätzen. Die erhobenen Daten wurden hinsichtlich Veränderungen bezüglich Verantwortung, Hoffnung, Verhalten und Bewusstsein gegenüber dem Klimawandel ausgewertet. Die Befragung nach der Durchführung dieses Programms hat bei allen Faktoren eine signifikante positive Veränderung der Werte gezeigt. Khadka et al. (2020) kamen also zu dem Schluss, dass ortsbezogenes Engagement, also lokale Bildung zum Klimawandel das öffentliche Verständnis begünstigen kann. Die Probanden konnten in diesem Fall nicht nur ihr Wissen zum Thema Klimawandel erweitern, auch ihre Verhaltensabsichten hatten sich dahingehend geändert, nachhaltiger leben zu wollen (Khadka et al., 2020).

Diese Erkenntnisse werden in einer Studie aus den USA aufgegriffen, die skizziert hat, dass sich große Teile der Bevölkerung Sorgen wegen der Auswirkungen des Klimawandels machen, sich aber die Auswirkungen auf ihr eigenes Leben im lokalen Kontext nicht vorstellen können. Die Darstellung globaler Veränderungen von Temperatur- und Niederschlagswerten sehen Veloz et al. (2012) als sehr wichtig an, jedoch sind die im täglichen oder saisonalen Kontext gesehene Veränderung zu gering, um die Bevölkerung zu alarmieren und zum Handeln zu veranlassen (Veloz et al., 2012). Ein weiteres Problem ist, dass die meisten Menschen nicht direkt mit dieser Thematik in Berührung kommen, weshalb noch weniger Eigeninitiative und positive Veränderungen im Lebensstil angestrebt werden. Nur 18 Prozent der US-Bevölkerung waren im Jahr 2011 direkt in solche Veränderungen involviert (Koger et al., 2011). Schlüssel, diese Zahl zu erhöhen, ist Bildung. Bis dato wird die Thematik aber oft zu komplex dargestellt. Es ist deshalb wichtig, eine für die breite Öffentlichkeit verständliche, nicht irreführende Art und Weise zu finden, die zukünftigen Klimaveränderungen zu kommunizieren. Dafür heben Veloz et al. (2021) die Vorteile der „Climate Analog Analysis“ hervor, bei der das zukünftige Klima eines Gebiets mit dem aktuell ähnlichen Klima eines anderen Gebiets verglichen wird. Neben der einfachen Interpretierbarkeit der Ergebnisse, kann diese Methode einfach auf neue räumliche Interessensgebiete angewendet werden. (Veloz et al., 2012).

Es gibt immer mehr Veröffentlichungen, die vorschlagen, dass die bislang überschaubaren Fortschritte im Kampf gegen den Klimawandel auch sehr stark darauf zurückzuführen sind, dass die Kommunikation dieses Themas gegenüber der Bevölkerung falsch stattgefunden hat (Koger et al., 2011; Moser & Dilling, 2011; Veloz et al., 2012).

Das Problem des Klimawandels brauche sogar ein neues Image als öffentliches Gesundheitsproblem anstatt eines Umweltproblems. Allerdings kann die Reaktion auf die Sichtweise eines öffentlichen Gesundheitsproblems laut Koger et al. (2011) dazu führen, dass eine Abwehrhaltung eingenommen wird, die bedingt, dass sich nicht weiter mit diesem Thema auseinandergesetzt wird um Gefühle wie Angst und Hilflosigkeit zu verhindern und Eigenverantwortung zu umgehen. Deshalb ist es sehr wichtig, dass die Menschen, weil sie selbst Teil des Problems Klimawandel sind, diese Schutzhaltungen überwinden, um aktiv gegen den Klimawandel vorgehen zu können. Koger et al. (2011) behaupten, dass die Art und Weise wie ein Problem kommuniziert wird und welches Image es dadurch erhält von großer Bedeutung ist. Aus psychologischer Sicht muss bis zu den tiefsitzenden, falschen Meinungen und Werten zum Klimawandel also zu den „Core Beliefs“ vorgedrungen werden, um diese zu überschreiben. Mithilfe einfacher Sprache sollen emotionale Reaktionen aktiviert werden, um die Aufmerksamkeit zu erhöhen, zum Handeln zu motivieren und Hoffnung zu geben. Das Problem der Sprache geht sogar so weit, dass jedes Wort bewusst gewählt werden muss. So reagieren die Leute positiver, hilfreicher und aktiver auf den Begriff „Smart Building“ also auf „Green Building“. Durch das Benutzen von Phrasen wie „Die Luft, die wir atmen“ oder „Das Wasser, das wir trinken“ kann ein besserer emotionaler Bezug zu den Problemen des Klimawandels hergestellt werden als durch die Verwendung des Wortes „Umwelt“ (Koger et al., 2011).

Auch Moser und Dilling haben im Jahr 2011 in ihrem Buch „Communicating climate change: Closing the science-action gap“ Gründe ermittelt, warum die Kommunikation der Gefahren, die vom Klimawandel ausgehen bisher in vielen Fällen ineffektiv war. Sie sprechen von einem „lack of information and understanding“, welches bisher als schuldig dafür gesehen wurde, dass die Leute nicht zum Handeln gebracht wurden. Das in der Wissenschaft seit einigen Jahren etablierte *Information Deficite Model* sagt genau das aus, nämlich, dass mit steigender Information und Bildung zu einem Problem auch die Besorgnis betreffend dieses Problem steigt. Moser und Dilling stellen aber klar, dass Bildung sehr wichtig ist, jedoch keineswegs eine Garantie dafür, dass sich die Leute mehr Gedanken zu einem Problem machen. Auch sie weisen darauf hin, dass der Klimawandel erst zum Problem geworden ist, weil die wenigsten Menschen direkte Erfahrungen mit den Auswirkungen gemacht haben (Moser & Dilling, 2011).

Wang et al. betonen ihrerseits die wichtige Rolle des Engagements der Bevölkerung. Ihr Artikel „Public engagement with climate imagery in a changing digital landscape“ handelt

genau wie die Artikel anderer Autoren (Herring et al., 2017; Thaker et al., 2017) von der Relevanz digitaler Medien zur Erreichung dieses Ziels. Vor Allem Bilder und Videos zeigen seit Jahren immer die gleichen Motive wie den ertrinkenden Eisbären dessen Eischolle geschmolzen ist. Genau wie Videomaterial zum Klimawandel sind Bilder wichtig, um die Menschen aufzuklären und das Bewusstsein zu schärfen. Wenn es aber um das Benehmen selbst geht und die Veränderung von Verhaltensweisen, so ist der Einfluss von Bildern und Videos zu wenig. Die Bildung zum Klimawandel betreffend haben interaktive Anwendungen aus dem Ensemble der neuen Medien den größten Effekt (Wang et al., 2016).

Thaker et al. (2017) haben herausgefunden, dass viele in Zeitungen, im Fernsehen oder im Internet transportierte Konzepte zum Klimawandel in Indien nicht wissenschaftlich haltbar sind. Auf der anderen Seite haben Sie jedoch mit ihren Resultaten gezeigt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von Medien und der Meinung zum Klimawandel besteht. Je intensiver dabei die Nutzung, desto wahrscheinlicher die Übernahme spezifischer Meinungen und Konzepte (Thaker et al., 2017).

Ein von Herring et al. (2017) durchgeführtes Experiment evaluierte, ob die Benutzung einer interaktiven Anwendung die Einstellung und die Besorgnis der Teilnehmer zum Klimawandel beeinflusst und ob dieser Effekt in Abhängigkeit von der geografischen Nähe variiert. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Benutzung einer solchen Anwendung eine Veränderung der Meinungen dahingehend stattgefunden hat, dass der Klimawandel als realer angesehen wurde. War das schon zuvor der Fall, wurde dies mit größerer Sicherheit geglaubt (Herring et al., 2017).

Simulationen zum Klimawandel (z.B. Temperatur- und Niederschlagsmengen), liefern konkrete, visuelle Darstellungen von Risiken. Diese visuellen Risikomodelle können über Computerschnittstellen in Echtzeit für den oder von dem/der Nutzer/In manipuliert werden. Durch solche Simulationen kann die Frage der Nähe gelöst werden und die Risiken des Klimawandels persönlicher und damit dringlicher gemacht werden (Herring et al., 2017).

Digitale Medien und besonders interaktive Kartendarstellungen können einen wichtigen Beitrag zur Bewusstseinsbildung über den Klimawandel leisten. Wie schon erwähnt, ist es wichtig, die Bevölkerung zum Engagement zu motivieren. Durch die Nutzung interaktiver

Anwendungen zur Veränderung der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse in der Zukunft soll die Meinung der Nutzer/Innen zur Erderwärmung geschärft werden. Will man nun die Durchschnittsbevölkerung, also jene Menschen, deren Bildungsgrad zum Klimawandel das aus den Medien gelernte vermutlich nicht übersteigt, mit einer interaktiven Applikation ansprechen, ist es von großer Wichtigkeit, diese so einfach wie möglich zu gestalten und einfach bedienbar zu machen (Cybulski & Horbiński, 2020).

Gelingen kann dies durch das in Betracht ziehen bisheriger Studien zur User Interface Gestaltung und User Experience. Die Aussage, dass die Möglichkeit der digitalen Interaktivität erfordert, dass wir den Kartenleser als Nutzer/In der Karte neu betrachten, stammt von Roth et al. (2017). Ihr Artikel behandelt Vorschläge zur empirischen Forschung über den/die Kartennutzer/In. Um eine interaktive Karte mit bestmöglicher Usability zu erstellen, ist es wichtig, sich mit der kognitiven Ebene zu befassen. Kulturelle und praktische Überlegungen, welche die Erfahrungen des/der Nutzers/In mit der interaktiven Karte beeinflussen, müssen besonders genau betrachtet werden (Roth et al., 2017).

Basierend auf Eye Tracking Analysen haben Cybulski und Horbinski (2020) in einer Studie die Anordnung der Buttons als Interaktionsmöglichkeiten im Graphical User Interface von Google Maps und Open Street Map verglichen. Sie haben dabei herausgefunden, dass Anwender/Innen als Erstes die Ecken der GUI betrachten, dann erst gezielt nach den Buttons für Tools mit der gewünschten Funktionalität suchen. Deshalb schlagen sie vor, Buttons mit ähnlichen Funktionen zu gruppieren. Es führt ein vermehrtes Benutzen und Ausführen der Gleichen Aktivitäten demnach nicht zwingend zu einer schnelleren und besseren Nutzung. Das Anpassen der GUI an die Anforderungen des/der Nutzers/In, u.a. auch User Centered Design genannt (UCD), jedoch schon (Cybulski & Horbiński, 2020).

UCD ist ein in drei Stufen aufgebauter Prozess. Im ersten Schritt müssen die Anforderungen, welche mit einem bestimmten Produkt erfüllt werden sollen, definiert werden. Schritt zwei ist die Ermittlung der Anforderungen des/der Nutzer/In, welche den Anforderungen des Produkts mit gleicher Gewichtung gegenüberstehen. Im dritten Schritt kann dann das Produkt selbst mit dem generierten Wissen entwickelt werden (Kramers, 2008).

1.2 Ziel der Arbeit

Aus den bisherigen in dieser Arbeit formulierten Erkenntnissen ist für mich die Idee entstanden, eine interaktive Webanwendung auf Rasterbasis zu erstellen. Dargestellt wird, wie sich die Menge an Niederschlag und die Veränderung der Temperaturen vom aktuellen Zeitpunkt bis zum Jahr 2100 verändern könnte. Datenbasis dafür liefern die *Shared Socioeconomic Pathways*. Diese prognostizieren die möglichen, zukünftigen Treibhausgasemissionen, die sich je nach unterschiedlicher, demographischer und wirtschaftlicher Entwicklung in der Zukunft stark unterscheiden könnten. Dadurch wird eine Anregung gegeben, wie eine für das Laienpublikum geeignete Anwendung zur Bildung über den Klimawandel aussehen könnte. Bestehende Anwendungen gibt es aktuell nicht frei zugänglich, sie können aber, wie erwähnt, den Lerneffekt fördern. Es ergibt sich für mich daraus die Notwendigkeit der Erstellung einer solchen Anwendung. Durch die Literaturrecherche sollen User Experience Kriterien ausgemacht werden, die wichtig sind, um die Anwendung möglichst einfach für das Laienpublikum zu gestalten.

1.3 Theoretischer Teil

Der theoretische Teil befasst sich mit wichtigen Begriffen und Konzepten, die verstanden werden sollten, wenn diese Arbeit gelesen wird. Kapitel 2 eröffnet diesen Themenbereich und beantwortet Fragen zum Klima, der Klimaberechnung und befasst sich mit Klimamodellen und Emissionsszenarien. Darauf folgt ein Kapitel zu kartographischer Kommunikation. Die folgenden Abschnitte handeln von Digitalen Medien und Interaktivität, User Experience und der Evaluation bereits bestehender ähnlicher Anwendungen.

1.4 Empirischer Teil

Der empirische Teil beschreibt, wie aus den gewonnenen Erkenntnissen eine Anwendung zum Interaktiven Klimavergleich entstanden ist. Es wird behandelt, welche Kriterien dabei beachtet wurden, welche Fehler versucht wurden zu verhindern und wie das Endprodukt aussieht. Dieses Kapitel beschreibt also den Workflow zur Erstellung der Anwendung.

1.5 Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen sollen für die Erstellung der interaktiven Klimavergleichs-applikation beantwortet werden:

1. Wie können raumbezogene Daten eingesetzt werden, um nicht nur über den Klimawandel aufzuklären, sondern auch das Bewusstsein zu diesem Problem zu stärken?
2. Welchen Effekt hat computerbezogene Interaktivität auf Wissensvermittlung?
 - Wie hoch/niedrig sollte der Grad an Interaktivität sein um einen optimalen Lerneffekt, jedoch keine kognitive Überlastung herbeizuführen?
3. Welche Datengrundlage bzw.- Organisation eignet sich, um die Thematik Klimawandel einfach verständlich zu transportieren?
 - Wie kann ein geeignetes Interface für das Laienpublikum gestaltet werden - Welche Usability/UX Kriterien lassen sich dazu identifizieren?
4. Wie könnte eine interaktive Webanwendung zur Bildung über den Klimawandel für das Laienpublikum aussehen und umgesetzt werden?

2. Klima

In Kapitel 2 wird auf die Klimaberechnung eingegangen. Was sind Klimamodelle, mittels welcher Faktoren können sie berechnet werden, welchen Nutzen haben sie und welche Arten von Klimamodellen gibt es.

2.1 Klima, Wetter und Witterung

Der Begriff "Klima" hat in unterschiedlichen Bereichen sehr unterschiedliche Bedeutungen.

In der Geologie oder Geomorphologie ist das Klima ein wichtiger Faktor in Bezug auf Phänomene und Interessen. Diese werden vom Klima maßgeblich beeinflusst. In der Archäologie ist Klima meistens in frühzeitlichen Epochen wichtig, da es auch sozioökonomische Prägungen verschiedener Gebiete zur Folge hatte, nach denen sich untersuchte Populationen oder Gegenstände entwickelten. Ein/eine Agrarwissenschaftler/In sieht das Klima als Norm im Hintergrund, nach der sich Wetter in unterschiedlichen Zeitskalen lokal auswirkt. Von Jahr zu Jahr bis hin von Tag zu Tag (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

Die Begriffe Klima und Wetter werden oft gleichbedeutend verwendet. Sie unterscheiden sich aber maßgeblich voneinander. Wichtigstes Kriterium zur Unterscheidung ist die zeitliche Dimension. Während sich Wetter auf einen kurzen Zeitraum einiger Stunden bis Wochen bezieht, beschreibt das Klima den Zustand des Klimasystems, also der Atmosphäre über längere Zeiträume wie etwa Jahrzehnte bis hin zu erdgeschichtlichen Zeiträumen. Zwischen den Bestandteilen der Atmosphäre, der Hydrosphäre, Lithosphäre, Biosphäre und Kryosphäre besteht ein ständiger Austausch von Masse und Energie durch bestimmte Vorgänge. Zu diesen zählen unter anderem Verdunstung, Niederschlag, Strahlung oder Meeresströmungen. Solche Vorgänge werden angetrieben durch das Bestreben der Subsysteme nach energetischem Gleichgewicht. Wegen der unterschiedlichen Strahlungsenergie der Sonne auf der Erde besteht dieses Ungleichgewicht (Malberg, 2007; McGuffie & Henderson-Sellers, 2005; Raith, 2001; ZAMG, 2020).

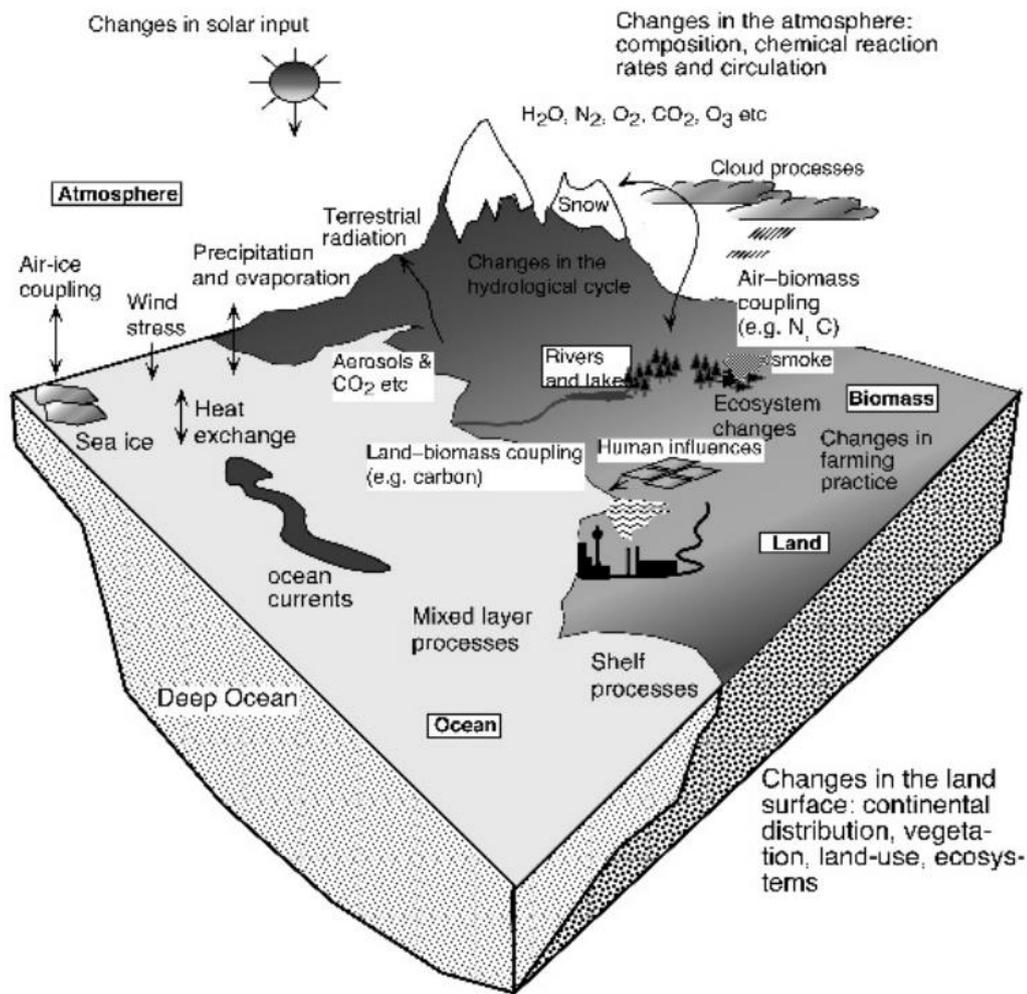


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Klimasystem und seiner Bestandteile (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S5)

Wird von einige Tage bis einige Monate, also auch Jahreszeiten, andauernden Verhältnissen gesprochen, so wird der Begriff Witterung verwendet. Typische Wetterphänomene sind Hoch- und Tiefdruckgebiete, Konvektion oder Niederschlag. Aufgrund der kleineren zeitlichen Ausdehnung können sehr genaue Wetterprognosen in Form von numerischen Wettermodellen erstellt werden. Zeitliche und räumliche Auflösung sind dabei sehr gering, es soll also das genaue Wetter eines kleinen Gebietes (wenige Kilometer) vorhergesagt und berechnet werden. Die Vorhersagbarkeit ist allerdings sehr limitiert, da sich Wetterverhältnisse durch eine Vielzahl kleinräumiger Einflussgrößen sehr schnell ändern können. Genaue Wettervorhersagen sind deshalb im Zeitraum von 5 bis 10 Tagen möglich (Malberg, 2007; Raith, 2001; ZAMG, 2020).

2.2 Definition des Begriffs Klima

Laut McGuffie und Henderson-Sellers (2002), kann das Klima als Gesamtheit der Merkmale des Klimasystems gesehen werden, die ein Phänomen von Interesse am sinnvollsten charakterisieren. In der untenstehenden Abbildung „The Climate Cube“ wird Klima in die drei miteinander interagierenden und voneinander abhängigen Bereiche Time, Space und (Human) Perception geteilt.

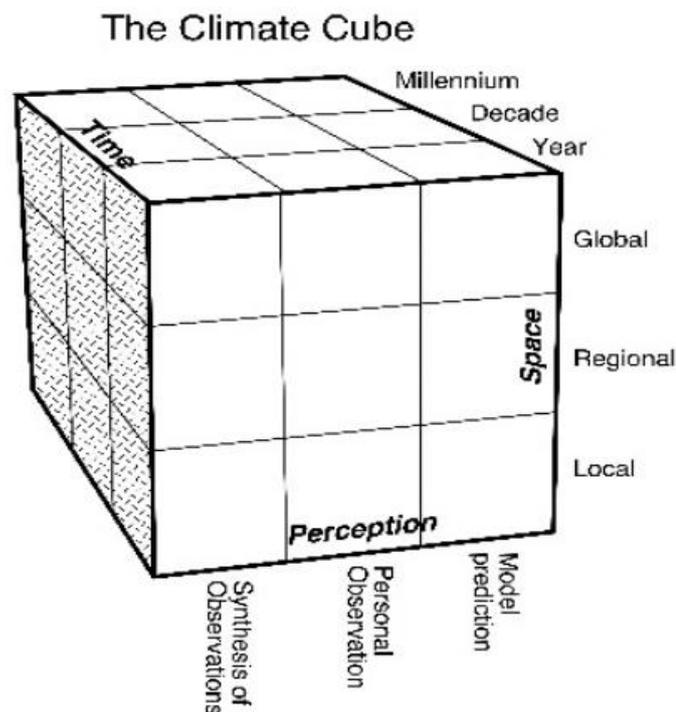


Abbildung 2: The Climate Cube - bestehend aus den drei Bereichen Time, Space und (Human) Perception (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S2)

Immer zu definieren ist also ein Gebiet der Ausdehnung, und eine Zeitperiode. Es müssen verschiedene Wahrnehmungen und Sichtweisen beachtet werden. Aus diesen drei Teilen des Climate Cubes ergibt sich die folgende Definition von Klima, welche laut den Autoren als eine Möglichkeit und keineswegs als einzige richtige Definition gesehen werden kann:

„all of the statistics describing the atmosphere and ocean determined over an agreed time interval (seasons, decades or longer), computed for the globe or possibly for a selected region“ (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S2).

Im Kapitel „Climate Modelling“ im Buch „Handbook of Environmental and Ecological Statistics“ beschreibt David Stephenson in Gelfand et al. (2019) das Klima in einem mehr statistischen Zugang als statistische Zusammenfassung einer Stichprobe von entweder beobachteten oder simulierten Wetterdaten. Etwa ein 30-jähriges Zeitmittel von vergangenen Wetterbeobachtungen von 1961-1990. Solche Zeitmittel werden verwendet, um normale Bedingungen an verschiedenen Orten der Erde zu definieren. Zusätzlich müssen aber jahreszeitliche Schwankungen berücksichtigt werden. Dafür werden meist Langzeitmittelwerte für verschiedene Jahreszeiten getrennt berechnet - z.B. Dezember-Februar-Mittel oder Juli-August-Mittel. Solche Maße liefern einfache Schätzungen des typischen Wetters für verschiedenen Jahreszeiten an bestimmten Orten. Allerdings ist dieser Ansatz für die Zusammenfassung von Wetter, das nicht unabhängig und zeitlich identisch verteilt ist, aufgrund des Vorhandenseins von Trends wie etwa der El-Nino Oszillation und anderen limitiert.

Stephenson schlägt in Gelfand et al. (2019) eine alternative, aussagekräftigere Interpretation des Klimas vor - eine Interpretation des Klimas als Erwartung des Wetters und nicht als Stichprobenmittelwert. Erwartung sollte als die Erwartung einer beliebigen Funktion einer Variable, z. B. die Überschreitung über einen hohen Schwellenwert gesehen werden, der zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen verwendet werden kann. Wetter wird in diesem Fall probabilistisch als Zufallsvariable dargestellt. Die Wahrscheinlichkeit zum Verhalten einer solchen Zufallsvariable kann aus Zeitreihenmodellen der Vergangenheit näherungsweise bestimmt werden. Das Klima ist dann ein Wahrscheinlichkeitsmodell bestehend aus einer Menge von Parametern. Die Variablen verhalten sich ähnlich zu einem Zufallsgenerator, da es durch die Vielzahl an Faktoren sehr schnell zu einem großteiligen Verlust der Ausgangsbedingungen kommt. Stephenson beschreibt die Wettervariablen als nicht-deterministisch und deshalb stochastisch. Diese stochastische Natur der Wetterentwicklung beginnt aber nicht erst bei der Veränderlichkeit der Variablen im Laufe der Zeit, sondern bereits bei den Variablen selbst. Diese konstituieren sich auf Basis thermodynamischer und quantenmechanischer Unsicherheitsquellen. Die Variable Temperatur ist eine statistische Zusammenfassung von Luftmolekülen mit gleichzeitigem Fehlen von Informationen über die Position dieser Moleküle.

Stephenson kommt zu der Überzeugung, dass Klima mehr eine konstruierte, nicht intrinsische Darstellung der physikalischen Realität, als eine bestimmte Sichtweise ist. Es

ist ein statistisches Konzept, das mehrere verschiedene Interpretationen zulässt und in seiner Berechnung aufgrund von ungenauen Ausgangsbedingungen und späteren Modellgleichungen äußerst ungenau ist (Gelfand et al., 2019).

2.3 Die Geschichte der Klimamodellierung

Erste Ansätze der Klimamodellierung sind im alten Griechenland zu finden. Eratosthenes und Ptolemäus hatten die Erde erstmals als Kugel beschrieben und das Klima mit der Neigung der Sonne und der davon abhängigen Strahlungsenergie in Verbindung gebracht. Ptolemäus entwickelte das erste auf Klimazonen basierende System, welches er von der Länge des Längsten Tages in der jeweiligen Zone abhängig machte. Die bis heute bekannte Hadley Zirkulation basiert ursprünglich auf den von Edmund Halley im Jahr 1686 aufgestellten Theorien. Mit dem Ziel, die Passatwinde zu erklären, brachte er erstmals die Theorie ins Spiel, dass die starke Sonneneinstrahlung in der Nähe des Äquators die „verdünnte“ Luft ansteigen lässt, was dazu führt, dass „dichtere“ Luft aus höheren Breiten hereinstürzt und die Passatwinde erzeugt. Auch sprach er erstmals davon, dass die Atmosphäre das Gleichgewicht bewahren muss. 50 Jahre später wurde Halleys These von Hadley modifiziert, indem der Corioliseffekt miteinbezogen wurde. Nachdem Dove um 1830 die These einer zweiten Zirkulationszelle, welche höher gelagert ist aufstellte, schlug Ferrel eine dritte vor. Das Bild der atmosphärischen Zirkulation hat sich seit Ferrels Zeiten, also den 1950er Jahren kaum verändert (Edwards, 2011).

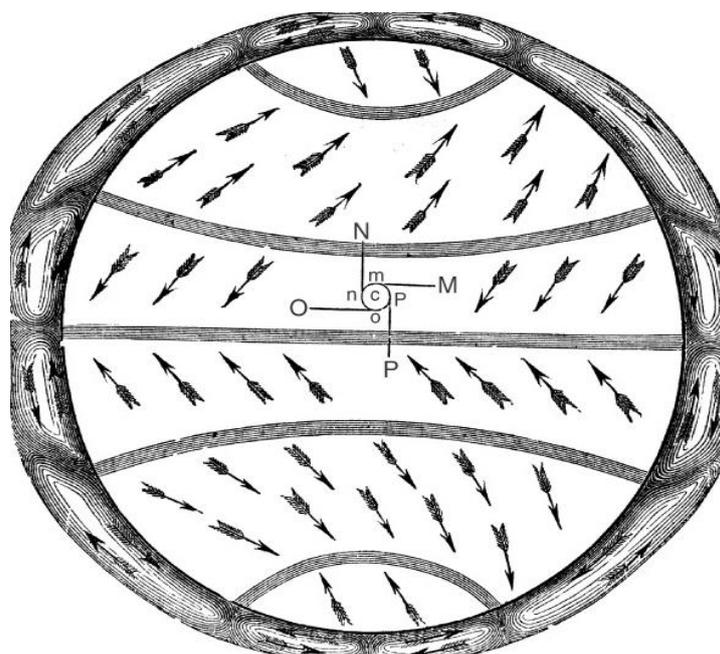


Abbildung 3: Ferrels Zirkulationsdiagramm und die drei Zirkulationszellen (aus Edwards, 2011, S129)

Bis zur Zeit des zweiten Weltkrieges konnten diese Zirkulationszellen nur vermutet werden, dann erst begann die systematische Datenerfassung für die höheren Luftschichten. Trotzdem sind diese Modelle bis heute gültig. Sie erklärten also schon damals, ohne genauere Details, wie die auf der Erde vorherrschenden Winde und die grundlegende Energietransportfunktion des Klimasystems funktionieren (ebd.).

Im Jahr 1861 entstand durch Tyndall eines der wichtigsten konzeptionellen Modelle über den Kohlenstoffkreislauf, das bedeutende Grundsteine zum Verständnis des Effekts von CO₂ und anderen Gasen auf unser Klima lieferte. Tyndall stellte die Behauptung auf, dass Gase, welche an geophysikalischen Zyklen beteiligt sind, Wärme speichern können. Diese Aussage griff Chamberlin später auf und lieferte eine Erklärung der globalen Klimaveränderungen in der er Kohlendioxid als wichtigen Treiber des Klimasystems vorstellte. Er fokussierte sich dabei besonders auf vulkanische Aktivitäten wie etwa Ausbrüche, welche große Mengen an CO₂ freisetzen. Andererseits behauptete er, dass durch organische Prozesse CO₂ gebunden wird, also in Zeiten geringer oder garkeiner vulkanischen Aktivität mehr CO₂ gebunden wird als ausgestoßen und es somit zur Senkung der Temperatur kommt.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts eruierten Ångström und andere, dass die Wirkung des Kohlenstoffdioxids auf die Temperaturveränderungen deutlich geringer sind als jene des Wasserdampfes. Daher wurde die Kohlenstoffdioxidtheorie zu dieser Zeit verworfen, bis sie später wieder Anerkennung fand (ebd.).

2.4 Arten von Klimamodellen

Seit Beginn des frühen 20. Jahrhunderts gab es immer größere Bestrebungen, unser Klimasystem in Modellen darzustellen. In diesem Kapitel wird auf die verschiedenen Arten von Klimamodellen eingegangen und auf die Frage, welche Modelle aktuell verwendet werden beziehungsweise veraltet sind.

2.4.1 Analoge Modelle

Zu den ersten Klimamodellen gehören Schalen oder Kugeln, in denen die darin befindlichen trüben Flüssigkeiten durch Drehen bewegt wurden. Diese Bewegungen glichen den vermuteten atmosphärischen Bewegungen mit verblüffender Genauigkeit. Um

die Auswirkungen der verschieden starken Sonneneinstrahlung auf den Planeten modellieren zu können, kamen etwas später die sogenannten „Disphan“-Modelle auf, welche am Rand beheizt und in der Mitte gekühlt wurden, um die äquatoriale Wärme und die Abkühlung an den Polen zu demonstrieren. Phillips schrieb über die „Disphan“-Modelle, dass sie zeigen, dass zumindest die groben Merkmale der Zirkulation mit ziemlicher Sicherheit vorhergesagt werden können (Edwards, 2011).

2.4.2 Energiebilanzmodelle und radiativ-konvektive Modelle

Die anfänglichen mathematischen **Energiebilanzmodelle** versuchten, eine Bilanzrechnung zwischen einfallender und austretender Wärmeenergie der Erde durchzuführen. Das war mit der Hoffnung verbunden, somit einzelne Klimafaktoren isolieren zu können. Adhemar & Croll stellten bald darauf die Hypothese in den Raum, dass orbitale Zyklen Eiszeiten verursachen. Diese wurde bald als falsch verurteilt, bis sie Milankovitch in den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts wieder aufgriff. Seine Behauptungen, dass es drei große Orbitalzyklen gibt, die abhängig von der axialen Neigung der Erde, der Exzentrizität der Erdumlaufbahn und der Präzession der Erdachse sind (vgl. Kapitel 2.5.2 Externe Klimafaktoren), ist bis heute gültig. Beispielsweise durch die Veränderung der Eismassen und somit der Albedo, und zahlreichen anderen Auswirkungen können sich je nach Breitengrad Veränderungen in der Menge der Sonneneinstrahlung von zwischen 20 und 30 Prozent ergeben. Heute ist die Albedo Rückkoppelung im Ensemble der den Klimawandel maßgeblich beeinflussenden Faktoren als auch dem der Eiszeiten bedingende Faktoren zu finden (Edwards, 2011).

Fourier prägte erstmals den Begriff Treibhaus, auf Französisch „serre“. Bereits im Jahr 1807 hatte er behauptet, dass die auf der Erde herrschende Temperatur dadurch zustande kommt, dass die Atmosphäre von der Erde abgestrahlte Wärme konserviert. Er beschrieb also das Energiegleichgewicht der Erde zwischen eingehender und ausgehender Wärmeenergie. Auch in diesem Fall wurden früh erstaunlich akkurate Behauptungen aufgestellt. Hanns *Handbook of Climatology* war 50 Jahre lang der Maßstab der theoretischen Klimaberechnung ab etwa 1880. In diesem Buch ist zu lesen, dass das Klima durch unterschiedliche Sonneneinstrahlung entsteht. Besonders beachtlich ist jedoch eine von Arrhenius schon im Jahr 1895 aus Berechnungen abgeleitete These. Durch das Untersuchen des Einflusses von Wasserdampf und Kohlendioxid auf die Erwärmung, kam er zu dem Schluss, dass die Verdopplung der atmosphärischen CO₂

Konzentration die globale Durchschnittstemperatur theoretisch um bis zu 5-6°C erhöhen könnte (ebd.).

Heute gibt es nulldimensionale, eindimensionale und zweidimensionale Energiebilanzmodelle (EBMs). Dabei wird die Erde als Punktmasse, in Breitengraden oder Zonen oder mit longitudinalen und meridionalen Energieflüssen dargestellt.

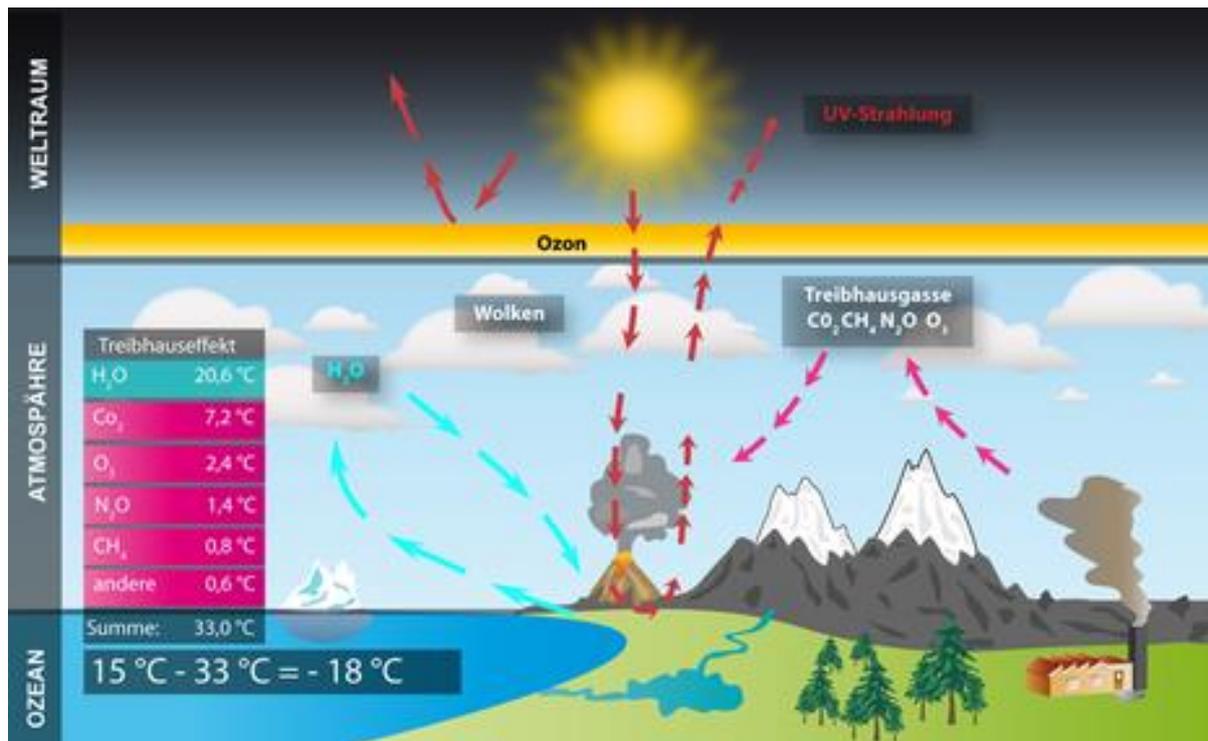


Abbildung 4: Der Treibhauseffekt (aus Wetterdienst.de, 2021, Online)

Radial-Konvektive Modelle, als zweite Art mathematischer Modelle, simulieren normalerweise die vertikale Temperaturverteilung der Atmosphäre bzw. teilweise das vertikale und meridionale Temperaturprofil.

Mit dem dritten mathematischen Modell, dem **zweidimensional statisch dynamischen Modell** schließt sich der Kreis der heute relevanten Modelle in der Klimawissenschaft. Diese Modelle werden sehr einfach gehalten und können deshalb sogar teilweise analog berechnet werden. Mit dem steigenden Einbezug von Klimafaktoren steigt jedoch neben der Genauigkeit die Komplexität, weshalb solche Modelle heute mittels Computer berechnet werden (ebd.).

2.4.3 Allgemeine Zirkulationsmodelle

Im frühen 20. Jahrhundert wurde von Vilhelm Bjerknes erstmals der Versuch unternommen, die globale Wetterdynamik mit Hilfe von den heute als "primitive Gleichungen" bekannten Bewegungs- und Zustandsgleichungen zu berechnen. Dazu gehören die Newtonschen Bewegungsgesetze, die hydrodynamische Zustandsgleichung, die Massenerhaltung und die thermodynamische Energiegleichung. Das Modell beschrieb mittels dieser Gleichungen, wie Masse, Impuls, Energie und Feuchtigkeit miteinander in Wechselwirkung stehen und in den verschiedenen Luftpaketen erhalten bleiben. Auf den Bjerknes-Gleichungen aufbauend entwickelte Richardson ein Finites-Differenzen-Gitter für die numerische Vorhersage. Die Komplexität dieses Vorhabens hatte aber numerische Instabilitäten zur Folge, die sich mit zunehmenden Iterationen vermehrten und verstärkten. Auch war der berechnete Oberflächendruck 150-mal größer als die tatsächlich beobachtete Änderung. Durch diese Rückschläge wurde die numerische Modellierung für 20 Jahre ad acta gelegt und das Problem der numerischen Instabilität konnte erst mittels Computern behoben werden. Diese sind deshalb nicht mehr wegzudenken und werden die Klimaberechnung in Zukunft durch ihre steigende Rechenleistung immer weiter vorantreiben (Edwards, 2011).

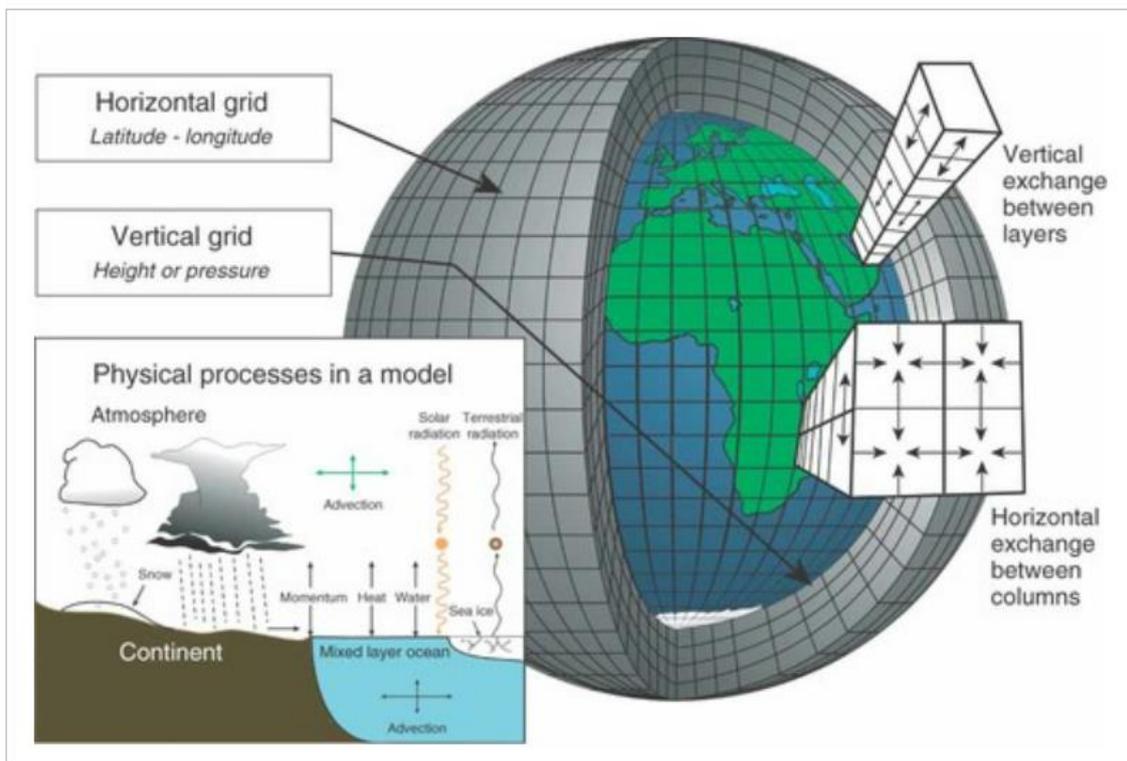


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Gitterboxen auf denen finite Berechnung von allgemeinen Zirkulationsmodellen beruht (aus Edwards, 2011, S130)

Eines der ersten Anwendungsgebiete digitaler Computer nach dem zweiten Weltkrieg war die zivile- und militärische Wettervorhersage. Numeric Weather Prediction (NWP), also die numerische Wettervorhersage baute meistens und baut bis heute, auf kartesischen Gittern und Finiten-Differenzen-Methoden auf. Sie basiert also auf Gitterboxen, deren vertikale und horizontale Massen- und Energietransfers, je nach Modell in Zeitabständen von 3 bis 15 Minuten berechnet werden. Die Kantenlängen dieser Gitterboxen bewegen sich laut Paeth (2007) in der Horizontalen im Bereich von 100 bis 200 Kilometern, die vertikalen Kantenlängen zwischen 100 Metern und 10 Kilometern. Obwohl dieser Ansatz schon einige Zeit existiert, waren frühere Modelle weniger komplex und auf lokale Gebiete begrenzt. Die heutige Herausforderung besteht darin, diese Berechnungen für den gesamten Globus bzw. die gesamte Atmosphäre durchzuführen, was in einer vielfachen Komplexitätssteigerung resultiert (Edwards, 2011; Paeth, 2007).

Im Grunde sind GCMs (Globale Climate Models) erweiterte NWPs, sie nutzen die gleichen Techniken, modellieren die atmosphärischen Komponenten des Klimas und erweitern den Anwendungsbereich auf die hemisphärische- oder globale Skala. Um die atmosphärischen Bewegungen zu berechnen, werden auch deutlich genauere, weniger abgespeckte Gleichungen als bei NWPs genutzt. Die beiden Hauptanwendungsgebiete von Allgemeinen Zirkulationsmodellen sind die Simulation von Wetter und die Simulation von Klima. Die Berechnung von Klima bezieht sich oft auf viele Jahrzehnte bis zu 100 Jahren, weshalb eine gewisse Auflösung und Komplexität vorausgesetzt werden muss. Typische berechnete Klimastatistiken beziehen sich auf Temperatur, Niederschlag und Winde (ebd.).

Alle allgemeinen Zirkulationsmodelle bestehen aus einem dynamischen Kern. Dieser simuliert die Flüssigkeitsbewegungen der Gitterboxen. Mit Hilfe der Modellphysik, werden die physikalischen Prozesse, also Konvektion, Strahlungstransport und Wolkenbildung simuliert. Da es nur diesen einen dynamischen Kern in der Gitterbox gibt, auf dem die Werte und Berechnungen basieren, ist es klar, dass für Gebiete (Subgitterskala) zwischen diesen Punkten Phänomene unberücksichtigt bleiben. Weiter umfasst die Modellphysik auch die Reibung zwischen Land- und Ozeanoberflächen und der Luft, Wärmeübertragung zwischen dem Ozean und der Atmosphäre, die Auswirkungen und Kreisläufe von Aerosolen und andere Prozesse. Da viele dieser Prozesse auf der Subgitterskala stattfinden, werden sie von den Modellierern oft in Form von konstanten, mathematischen Funktionen oder Parametern dargestellt. Dadurch ist es möglich die großskaligen Effekte der kleinen Prozesse in das Modell einzubinden ohne deren direkte Modellierung. Eine

Gewitterzelle von etwa 5 Kilometern horizontaler Ausdehnung, würde nicht auf der Skala eines Klimamodells mit einer Kantenlänge von 100 Kilometern dargestellt werden, hat aber großen Einfluss auf den lokalen Niederschlagseintrag, somit auf die mittlere Temperatur und Feuchte und die Rückstreuung der solaren Energie. Diese Parametrisierung physikalischer Prozesse, ist die komplexeste Angelegenheit, in Bezug auf die Klimamodellierung und außerdem Quelle von wissenschaftlichen und politischen Kontroversen. Zumindest ein Stück weit Abhilfe, diese Unsicherheiten betreffend, schafft der Vergleich verschiedener Modelle. (Edwards, 2011; Paeth, 2007).

Wegen des Schrumpfens von früher verwendeten Breitengrad-Längengrad-Gittern zu den Polen hin, also mit steigendem Breitengrad, führten diese Arten der Klimaberechnung zu Problemen. Verschiedene Versuche, diese zu beheben, hatten schlussendlich in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre zu spektralen Modellierungsverfahren geführt, die schon in den 50er Jahren erforscht wurden. Diese machten es möglich, Wellenbewegungen auf einer Kugel darzustellen (Edwards, 2011).

Atmosphärische Bewegung besteht aus einer Vielzahl von Wellen unterschiedlicher Frequenz, Skala und Amplitude, durch deren Überlagerung hochkomplexe Muster entstehen. Dafür gibt es den Wellenraum, ein mathematisches Konstrukt, das schwer zu visualisieren ist. Deshalb gibt es einige Transformationstechniken, die die Modellvariablen für beide Räume nutzbar machen. Am Ende wird meist das physikalische Gitter genutzt. Die Spektralmethode wurde aber erst 1973 zur Standardmethode für GCMs, da sie ursprünglich deutlich mehr Berechnungsarbeit voraussetzt, als Infinite-Differenzverfahren, die Algorithmen zu dieser Zeit aber so weiterentwickelt wurden, dass die Spektralmethode nun effizienter ist (ebd.).

2.5 Klimaberechnung

Es ist allgemein hin klar, dass die auf den physikalischen Gesetzen des Klimas basierende Computermodellierungen das effektivste Mittel zur Berechnung der zukünftigen Klimaentwicklung ist. Durch die rasante Entwicklung im Bereich der Computerwissenschaft und die damit einhergehenden, immer leistungsfähigeren Geräte ist es bei der Klimamodellierung möglich, immer mehr Klimavariablen in Berechnungen mit einzubeziehen. Auch die räumliche und zeitliche Auflösung wird immer genauer. Trotzdem muss beachtet werden, dass das Klimasystem aus einer Vielzahl verschiedener

Faktoren besteht, von denen wir manche vermutlich noch gar nicht kennen. Es gilt also noch große Entwicklungsschritte zu machen, trotzdem lassen sich die jetzt schon überwältigenden Datenmengen zur Berechnung komplexer Klima-Sachverhalte am einfachsten durch Rechenzentren in meteorologischen oder Klimaforschungseinrichtungen durchführen. Gemessen werden kann die immer stärker werdende Rechenleistung mittels der Einheiten MIPS (Million Instructions per Second) und MFLOPS (Million Floating Point Operations per Second). Je mehr Befehle bzw. Gleitkommaoperationen also ein Prozessor pro Sekunde umsetzen kann, desto leistungsfähiger ist er (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

Da Klimamodelle die Erkenntnisse immer mehrerer Disziplinen vereinen, genießen sie wichtiger Weise auch immer mehr Aufmerksamkeit. Länger periodische Modelle interessieren Glaziologen, Geologen oder Geophysiker. Atmosphärenchemiker, die sich mit komplexen Reaktionen beschäftigen, die typischerweise sehr kurze Zeitskalen aufzeigen, binden untersuchte Prozesse immer erfolgreicher in dreidimensionale Klimamodelle ein. Die Auswirkungen von Phänomenen auf der Skala des Sonnensystems ziehen Planetenphysiker/Innen und Astronom/Innen an und Sozial- und Wirtschaftswissenschaftler/Innen sind besonders an den Auswirkungen von Änderungen des Klimasystems auf den Mensch interessiert ebd.).

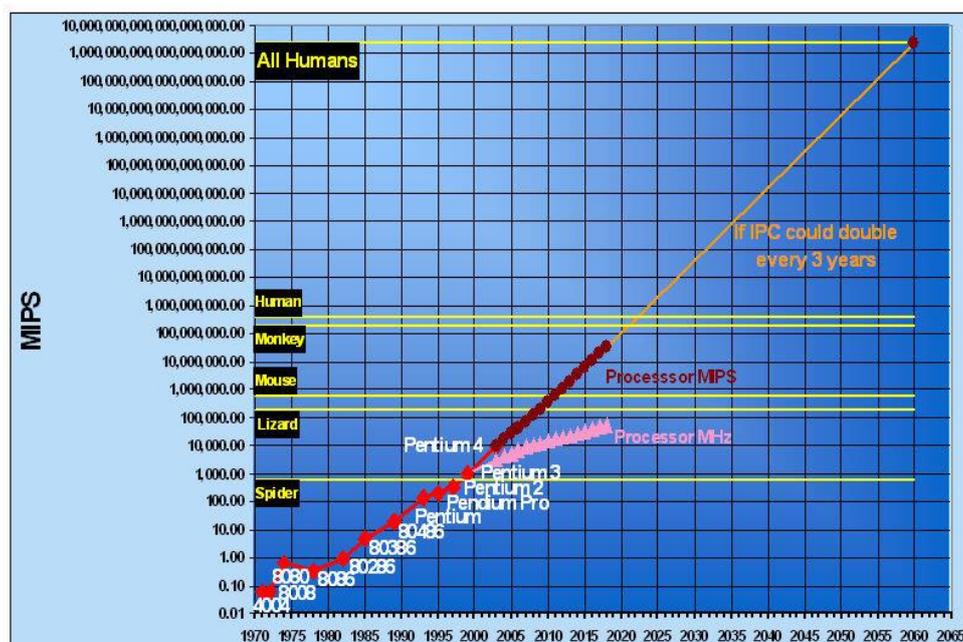


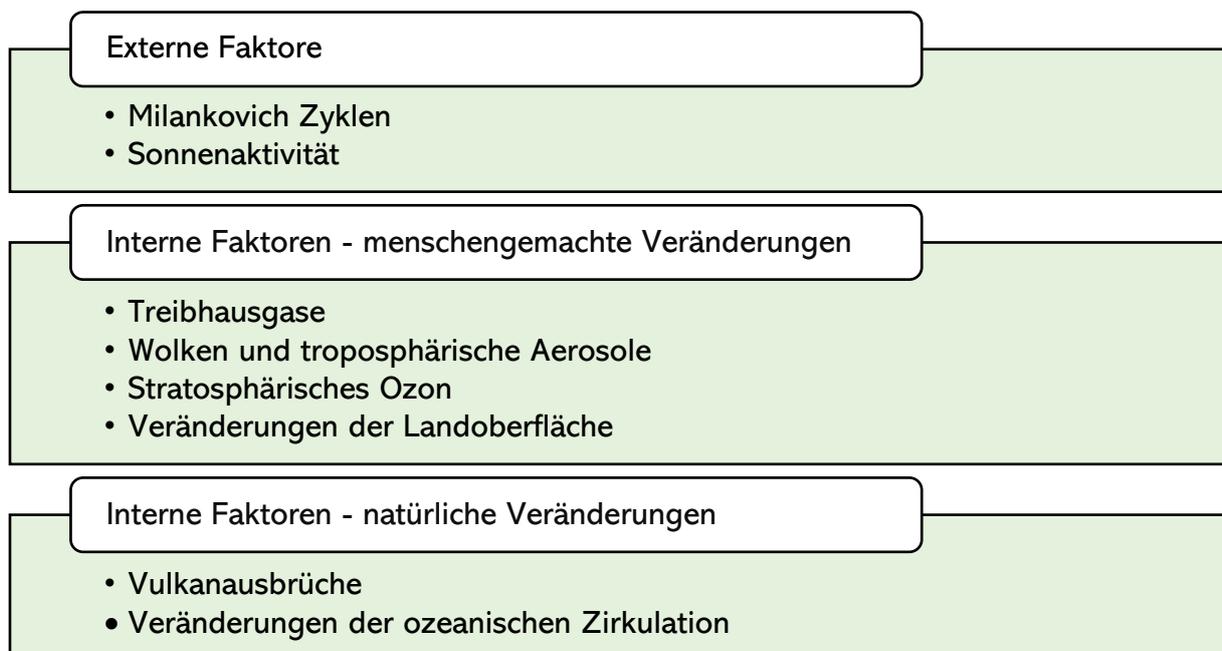
Abbildung 6: Entwicklung der Computer-Rechenleistung nach MIPS (Million Instructions per Second) (aus Tsach et al., 2021)

2.5.1 Klimafaktoren zur Klimaberechnung

Der Trend in der Klimaberechnung geht also dahin, dass immer mehr unterschiedliche Disziplinen betreffende Faktoren in die Auswertungen einbezogen werden. Doch welche dieser Faktoren haben die größten Auswirkungen auf die Veränderung unseres Klimas? Wie kann man betreffende Klimafaktoren in Gruppen zusammenfassen?

Generell spricht man in der Klimaforschung von Klimaantriebsfaktoren. Eine Änderung spezifischer Faktoren wirkt sich auf die globale Klimabilanz aus und führt in weiterer Folge zu einer Änderung der globalen Temperatur. Diese Faktoren werden in externe und interne Klimafaktoren gegliedert. Externe Faktoren beschreiben Einflüsse außerhalb des Klimasystems wie etwa die Schwankungen der Sonneneinstrahlung, interne Faktoren, die Veränderung des Eisschildes auf der Erde, Vulkanausbrüche oder Änderungen in der CO₂-Bilanz. Längerfristige interne Faktoren sind beispielsweise Gebirgsbildung durch Kontinentaldrift oder die sich verändernde Polarität des Erdmagnetfeldes (McGuffie & Henderson-Sellers, 2015).

Nach der Klassifikation von McGuffie und Henderson-Sellers sind die wichtigsten Faktoren:



2.5.2 Externe Klimafaktoren

Zu den wichtigsten externen Klimafaktoren zählen die Milankovitch Zyklen und die Sonnenaktivität. Die Milankovitch Zyklen beschreiben die im Laufe der Zeit unterschiedlich intensive, von der Erde empfangene, Energieeinstrahlung durch die sich ändernden Parameter der Erdbahn. Die Erde bewegt sich in elliptischer Form um die Sonne, welche in einem Brennpunkt der Ellipse liegt. Die Bewegung der Erde um die Sonne wird durch die Erdumlaufbahn beschrieben. Die Parameter, namentlich Exzentrizität, Schiefe der Ekliptik und die Präzession, können sich im Laufe der Zeit ändern, wodurch sich auch die einfallende Sonneneinstrahlung auf die Erde verändert. Die Form der Umlaufbahn der Erde um die Sonne, Exzentrizität genannt, variiert zwischen elliptischer und kreisrunder Form in regelmäßigen Zyklen von 110 000 Jahren. 41000 Jahre dauert der Zyklus der Schiefe der Ekliptik, also der Neigung der Erdachse zu jener Ebene, in der die Erde und die anderen Planeten unseres Sonnensystems um die Sonne kreisen. Die Variation der Schiefe der Erdachse in Bezug zur Ekliptik bewegt sich zwischen 22- und 24.5°.

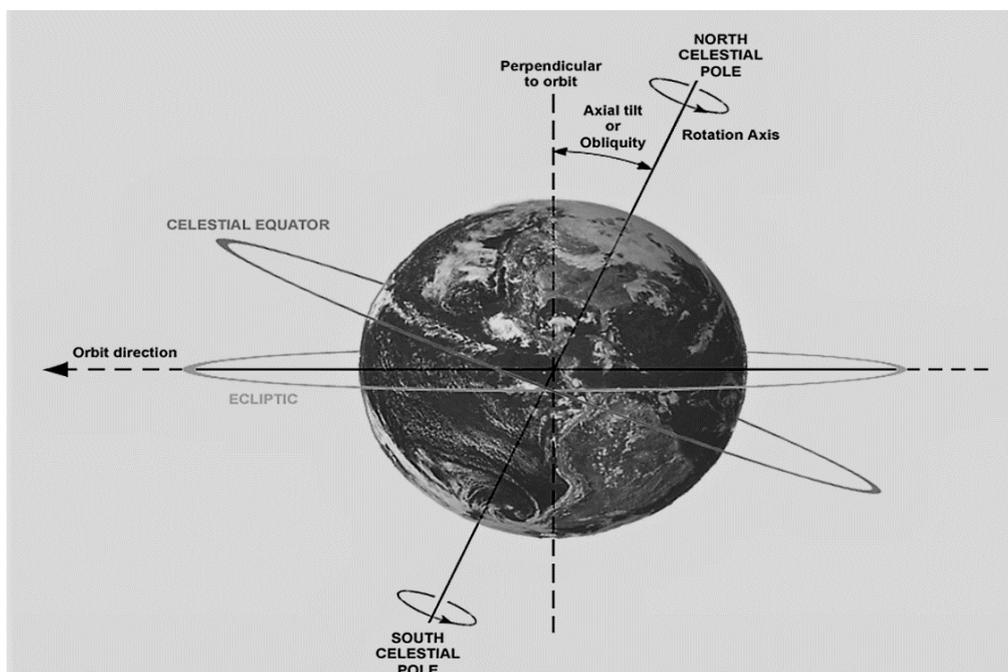


Abbildung 7: Darstellung der Erdbahnparameter Exzentrizität, Schiefe der Ekliptik und Präzession (aus Brauchli, 2020, online)

Der dritte, die Einstrahlung beeinflussende Faktor entsteht dadurch, dass die Erde keine perfekte Kugel ist, eher ein Rotationsellipsoid bzw. noch genauer ein Geoid. Durch diese Form der Erde ist der Durchmesser am Äquator 43 Kilometer länger als an den Polen,

was Angriffsfläche für die Schwerkraftwirkung der Sonne und des Mondes bietet. Wie ein Kreisel taumelt also auch die Erde. Durch diese Faktoren variierte der sogenannte jährliche Fluss in den letzten 5 Millionen Jahren er von 0,000483 bis 0,060791. Das ergibt Änderungen des einfallenden Energieflusses von +0,014 % bis -0,170 % vom aktuellen Wert der etwa 0,19 W/m₂ bzw. 2,3 W/m₂ (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

Das Perihel ist der Punkt der elliptischen Erdbahn, der der Sonne am nächsten ist. Durch die Wechselwirkungen der Gravitation der Erde mit anderen Planeten, besonders Jupiter, bewegt sich das Perihel und somit auch die Ellipse so, dass es zu einer räumlichen Verschiebung kommt. Es kommt deshalb zu zwei Hauptperiodizitäten: einmal mit 23 000 Jahren und einmal mit 18 800 Jahren. Durch all diese Faktoren verändert sich also nicht die gesamte von der Erde empfangene Sonnenstrahlung, jedoch kommt es zu deutlichen Unterschieden in der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Strahlung. Derzeit ist das Perihel am 5. Januar, also in der Mitte des Winters der nördlichen Hemisphäre. Nach den Berechnungen wird es in 11- bis 15 000 Jahren im Juli, also in der Mitte des Sommers der nördlichen Hemisphäre auftreten. Heute sind die Milankovitch Zyklen bewiesen und es ist klar, dass sie Veränderungen des Strahlen- und Energiehaushalts auslösen. Genauere Kenntnisse, wodurch sich diese meist mehrere 10 tausend Jahre andauernden Zyklen ergeben, konnten aber noch nicht erforscht werden. Man geht davon aus, dass die Milankovitch Zyklen, in geringeren zeitlichen Perioden betrachtet, Rückkoppelungseffekte im Klimasystem auslösen und dieses somit beeinflussen (Brauchli, 2020; McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

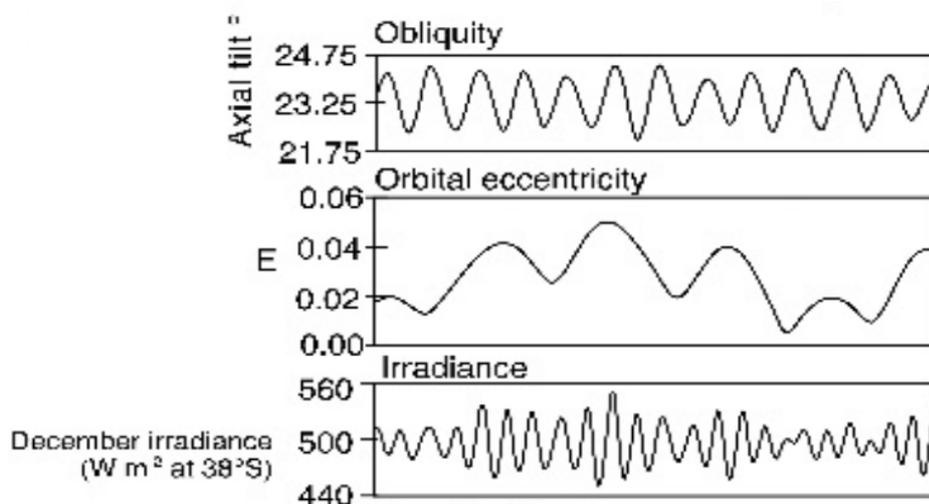


Abbildung 8: Diagramm der Veränderungen von Schiefe der Ekliptik, Exzentrizität und Präzession (aus McGuffie & Henderson-Sellers, 2005, S24)

Die zweite Ursache für solar bedingte Klimaveränderungen und historische Klimaschwankungen könnten die Sonnenfleckenzyklen sein. Die Periode des „Hale“-Doppelsonnenfleckenzyklus dauert jeweils 22 Jahre. Im Allgemeinen kann die Sonnenaktivität die von der Erde empfangene Strahlung beeinflussen. Sogenannte Flecken, dunkle Bereiche und Fackeln, helle Bereiche, die von der Sonne erzeugt werden, modulieren die von der Erde empfangene Strahlung. Erstere schwächen die emittierte Strahlung von der Erde zurück ins Weltall ab, Fackeln verstärken sie. So wurde etwa die letzte kleine Eiszeit in den Jahren 1645-1715 mit dem Maunder-Minimum an Sonnenflecken in Verbindung gebracht. Zwischen dieser Zeit und heute betrug die Veränderung der Energieabgabe der Sonne etwa 0.4 Prozent mit einer Schwankungsbreite von plus minus 0.2 Prozent. Diese Werte sind deutlich kleiner als der heutige Einfluss des erhöhten CO₂ Ausstoßes auf unser Klima, deren kurzfristige Variabilität in Verbindung mit dem Sonnenzyklus ist allerdings vergleichbar (ebd.).

Weitere externe Einflüsse, welche sehr selten vorkommen, jedoch Auswirkungen auf die Klimaschwankungen der letzten Jahrtausende gehabt haben könnten, sind Kollisionen von Kometen mit der Erde und sehr große Meteoriteneinschläge. Diese könnten eine Zunahme der stratosphärischen und troposphärischen Aerosole bedingt haben, was sich auf das Klima ausgewirkt haben könnte (ebd.)

2.5.3 Interne Klimafaktoren (menschengemachte Veränderungen)

Neben externen Faktoren, auf die die Menschheit wenig bis gar keinen Einfluss hat, gibt es **interne, durch Menschen verursachte Klimafaktoren und natürliche interne Faktoren**. Die von den Menschen verursachten können als besonders wichtig gesehen werden. Sie sind veränderlich und daher der Schlüssel zur Verlangsamung des Klimawandels. Die wichtigsten und einflussstärksten dieser Faktoren sind die Emissionen von Treibhausgasen und der Abbau des Ozons (Mc Guffie & Henderson-Sellers, 2005).

Es ist weithin bekannt und wissenschaftlich nachgewiesen, vor allem durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), dass CO₂ neben Wasserdampf, auf den wir keinen Einfluss haben, die Hauptkomponente des natürlichen Treibhauseffekts ist und somit die Erwärmung der Erde steuert. Das Verbrauchen fossiler Brennstoffe macht dabei den größten Anteil der Emissionen aus. Die Stärke der Erwärmung und die dadurch verursachten Folgen werden davon abhängig sein, welche Rückkoppelungseffekte der

Klimavariablen ausgelöst werden. Es gibt erhebliche Unsicherheiten in der Größenordnung vieler dieser Einflüsse. Allerdings ist der kombinierte Effekt von Wolken- und Aerosolantrieben potenziell vergleichbar mit dem durch Kohlendioxid verursachten Antrieb, wenn auch manchmal in entgegengesetzter Richtung (ebd.).

Bei der **Verbrennung fossiler Brennstoffe** entsteht Schwefeldioxid (SO_2), welches in die Atmosphäre, genauer gesagt Troposphäre emittiert wird. Die meisten solchen Tröpfchen und Partikel haben den Effekt, dass die einfallende Sonnenstrahlung zurück in die Atmosphäre reflektiert wird, also eine kühlende Wirkung. Partikel wie etwa Ruß, haben eine dunkle Farbe, was zum gegenteiligen Effekt führt. Je nach Emissionsgebiet und Emissionsinhalt kann ein lokal kühlender oder erwärmender Effekt entstehen, welcher auch als **direkter Effekt** bezeichnet wird. Das Ausmaß dieses Effekts ist von der Anordnung und Art der emittierten Partikel abhängig. Ein weiterer kühlender Effekt, der **indirekte Effekt** tritt ein, da emittierte Aerosole in Wolken auch als zusätzliche Kondensationskerne dienen können. Das führt dazu, dass Wolken dichter werden und deshalb ein erhöhtes Reflexionsvermögen aufweisen. Dies kann also auch in einer Erwärmung oder Kühlung resultieren, je nachdem in welche Richtung reflektiert wird. Trotzdem sowohl direkter als auch indirekter Effekt in der Theorie kühlend und erwärmend wirken können, wird angenommen, dass beide zumeist in gleichem Maß kühlend wirken (ebd.).

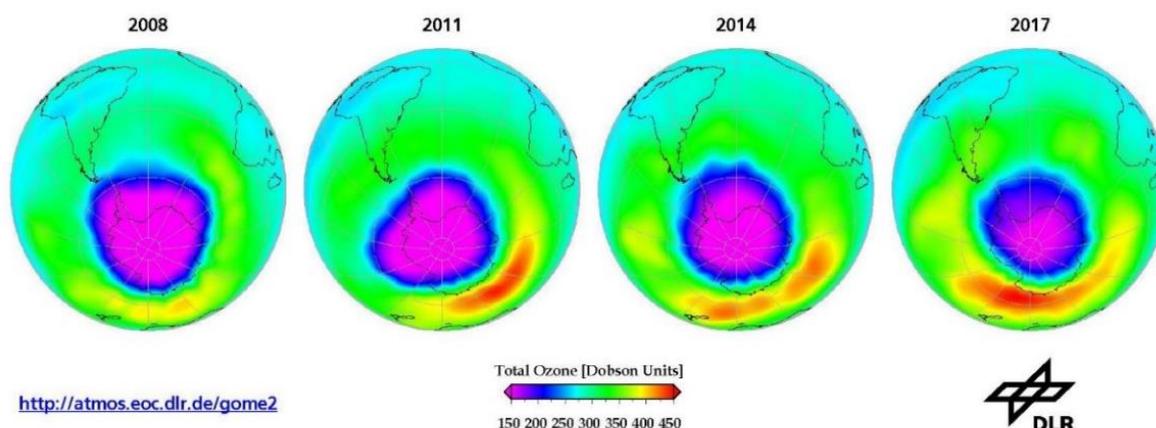


Abbildung 9: Entwicklung des Ozonlochs über der Antarktis von 2008 bis 2017 (aus DLR Portal, 2017, online)

Neben den durch Aerosole ausgelösten Effekten gibt es, wie 1985 entdeckt wurde, einen Ozonabbau, der in sogenannten Ozonlöchern in bestimmten Gebieten der Atmosphäre resultiert. Neben dem ersten über der Antarktis entdeckten Loch konnte auch ein intensiver Ozonabbau über der Arktis nachgewiesen werden. Durch diese Entdeckung wurde das Bewusstsein zur Einbindung chemischer Submodelle in Klimamodelle stark gefördert. Weil sie herausgefunden hatten, dass die Auflösung des Ozons zu einem großen Teil menschengemacht war und ist und eine Bedrohung darstellt, wurden Paul Crutzen, Mario Molina und Sherwood Rowland 1995 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet (ebd.).

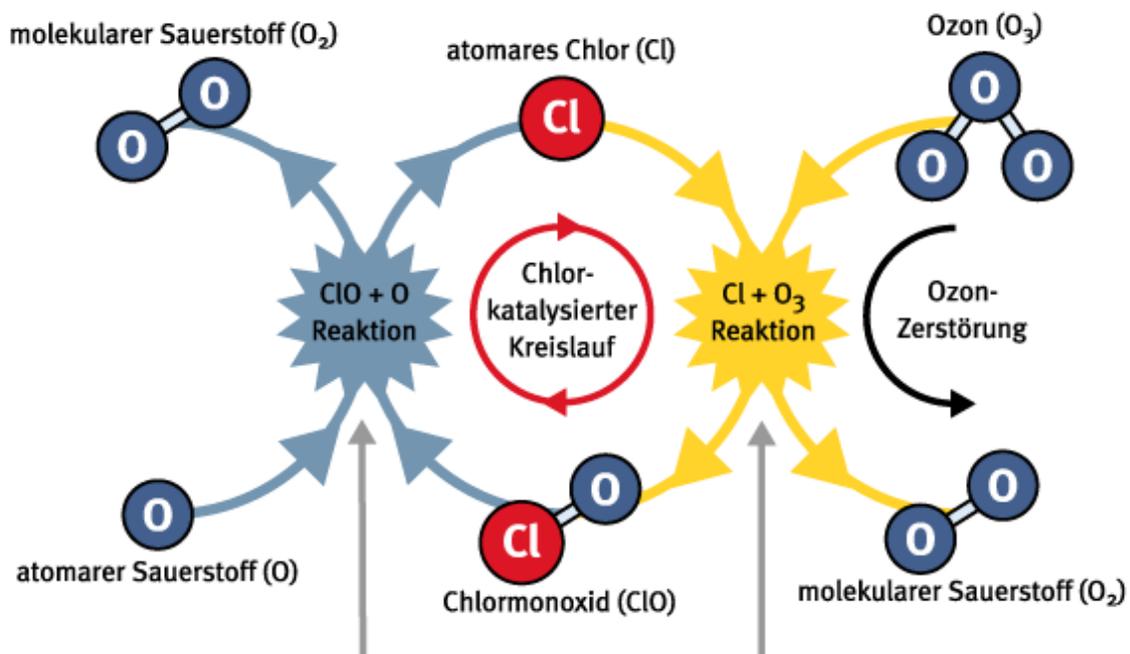


Abbildung 10: Darstellung des chemischen Ablaufs der Ozon Zerstörung (aus Weltderphysik, 2009, Online)

FCKW, also Fluorchlorkohlenwasserstoff, wird aus organischen Verbindungen, in denen Wasserstoffatome durch Fluor- und Chloratome ersetzt werden hergestellt. Gelangen diese Gase in die Stratosphäre, reagieren sie mit dem dort vorhandenen Ozon, dieses wird zu anderen Verbindungen aufgespalten und deshalb abgebaut. Damit diese chemischen Prozesse stattfinden, braucht es allerdings auch feste Oberflächen. Da diese durch die Eiskristalle in stratosphärischen Eiswolken gegeben sind, ist der Ozonabbau an den Polgebieten am stärksten nachweisbar. Auch vulkanische Aerosole liefern in manchen Fällen durch ihre Oberfläche die Voraussetzung für Ozonabbau. Diese Problematik kann

sich ebenfalls kühlend oder wärmend auf den Planeten auswirken. Da FCKWs strahlungsaktiv sind, ist es möglich, dass sich auch die Temperatur der Atmosphäre ändert und somit die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen. So wirken troposphärische FCKWs, also solche Gase, die in der Troposphäre verbleiben als Absorber der von der Erde entweichenden Infrarotstrahlung. Sie haben damit einen erwärmenden Effekt. Das stratosphärische Ozon bewirkt im Gegensatz dazu eine Abkühlung des Planeten (ebd.).

Da durch die Entdeckung in den 80er Jahren ein Bewusstsein für dieses Problem geschaffen wurde, regenerieren sich die Ozonlöcher wieder, da versucht wird die Produktion und Verwendung von FCKW zu reduzieren. Dies ist relevant, da die Ozonschicht einen wichtigen Schutz gegen bestimmte Arten von UV-Strahlung bietet und somit auch einer Erwärmung der Erde durch diese Strahlung entgegenwirkt. Obwohl die Konzentration von FCKWs in der Atmosphäre geringer wird, wird es noch mehrere hundert Jahre dauern, bis diese Gase vollständig abgebaut sind und sich die Ozonschicht vollständig erholen kann (Greenpeace, 2014).

Ein weiterer Faktor, der bei der Berechnung von Klimamodellen miteinbezogen werden muss, ist die **menschengemachte Veränderung** der Erdoberfläche. Dazu gehören beispielsweise Entwaldung, Aufforstung, Dammbau, Urbanisierung und Desertifikation. All diese Aktivitäten haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des regionalen und globalen Klimas. Aride und semiaride Gebiete sind besonders anfällig auf menschliche Einflüsse, da durch die fehlende Feuchtigkeit ohnehin nur spärliche Vegetation existiert. Es reichen schon landwirtschaftliche Praktiken wie Überweidung aus, um das Ökosystem weitgehend zu verändern. Konkret wirkt sich das in einem Abbau der Vegetation aus, was einen positiven Rückkoppelungseffekt zur Folge hat. Weniger Pflanzen bedeutet geringere Bodenfeuchte, erhöhten Abfluss und erhöhte Albedo. Weiter ist der latente Wärmestrom durch weniger Wasserdampf abgeschwächt und es wird weniger Wärme aus dem Boden und der bodennahen Luft abtransportiert. Die erhöhte Albedo bewirkt einen Nettostrahlungsverlust, wodurch die Konvektion verringert wird, Wolkenbildung fast unmöglich wird und es deshalb kaum zu Niederschlag kommen kann. Dies bedingt einen positiven Rückkoppelungseffekt, da es dadurch noch trockener wird und die Desertifikation weiter voranschreiten kann (Mc Guffie & Henderson-Sellers, 2005).

Ein weiterer Faktor ist die Entwaldung besonders im Amazonasgebiet in Südamerika. Etwa 40 Prozent der Erde sind mit Wald bedeckt. Diese Waldflächen können eine beträchtliche

Menge an CO₂ speichern. Werden sie abgeholzt, werden diese Gase freigesetzt und verstärken den Treibhauseffekt. Bestrebungen, die Auswirkungen des Waldabbaus im Amazonasgebiet zu evaluieren, haben bewiesen, dass die Verdunstung dadurch geringer wird und es somit zu weniger Niederschlag kommt (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

2.5.3.1 Interne Klimafaktoren (natürliche Veränderungen)

Zu den natürlichen Veränderungen der internen Klimafaktoren gehören Vulkanausbrüche und Veränderungen in den Zirkulationen der Weltmeere. Vulkane können das Klima, wenn sie ausbrechen, um einige Zehntel Grad beeinflussen. Der größte klimatische Beitrag entsteht durch stratosphärische Schwefelsäure-Tropfen. Diese bestimmen in weiterer Folge auch, ob es zu einer Erwärmung oder Abkühlung kommt. Abhängig ist das von der Höhe der Injektion der Tröpfchen in die Atmosphäre. Absorbiert das Aerosol im sichtbaren Teil des Spektrums wird die Energie an die Atmosphäre abgegeben. Absorbiert es und emittiert aber im infraroten Bereich, wird der Treibhauseffekt verstärkt. Die Eruptionen sind meistens von zu geringer Höhe, um großen Einfluss auf das Klima zu haben. Beim Ausstoß von Partikeln in die Troposphäre in Höhen von 5 bis 8 Kilometern werden diese meist sehr schnell wieder durch Regen ausgewaschen und haben deshalb keinen Effekt auf das Klima.

Stärkere, aber auch deutlich seltener vorkommende Eruptionen könne Partikel in Höhen von 15 bis 25 Kilometer schleudern, also bis in die Höhe der unteren Stratosphäre. Dort haben die Partikel je nach Größe eine längere Lebensdauer, von einem Jahr bis zu zwölf Jahren. Ein Beispiel dafür ist der Ausbruch des Mount Pinatubo im Jahr 1991. Dabei wurden 20 Millionen Tonnen Schwefeldioxid ausgestoßen, welche in weiterer Folge photochemisch in Sulfataerosole umgewandelt wurden. Das hatte den Effekt, dass die atmosphärische Albedo erhöht wurde, also mehr Strahlungsenergie der Sonne zurück ins Weltall reflektiert wurde. Direkt nach der Eruption wird die Atmosphäre meist von den ausgestoßenen Partikeln dominiert. Das führt zu erhöhter Sulfatbildung und weiter zu erhöhter Absorption von Infrarotstrahlung. Meist tritt durch starke Vulkanausbrüche jedoch eine Abkühlung auf, da die geringere Absorption der sichtbaren Strahlung deutlich weniger ins Gewicht fällt als die Emission und Reflexion von Infrarotstrahlung. So hatte der Ausbruch des Mount Pinatubo eine vorübergehende Abkühlung der globalen Temperatur von 0.5 Grad zur Folge. Vulkanische Einflüsse treten immer nur

vorrübergehend auf und die Temperaturanomalien, die dadurch zustande kommen, haben keinen langfristigen Klimaeffekt (ebd.).

Den Planeten selbst betreffend, nehmen Ozeane die wichtigste Rolle im Klimasystem ein. Ihr unglaubliches Volumen und die damit einhergehende Fähigkeit, riesige Massen an Energie zu speichern und zu verteilen, machen sie auch zu einem der komplexesten Bestandteile dieses Systems. Ein Großteil der von der Erde aufgenommenen Strahlungsenergie wird an den Wasseroberflächen absorbiert. Die Klimavariablen der Weltmeere lässt sich in drei Komponenten teilen. Erstens gibt es Oberflächenströmungen, die durch Winde angetrieben werden, zweitens Tiefenströmungen, durch Temperatur und Salzgradienten gesteuert und die durch die Gravitationswirkung des Mondes und der Sonne beeinflussten Gezeiten. Diese drei Strömungswirkungen interagieren miteinander und bilden ein komplexes, nicht lineares System. Die Veränderungen dieses Strömungssystems werden jedoch mit anderen Mechanismen, die von Jahrzehnten bis zu Jahrtausenden dauern können in Verbindung gebracht. Zu diesen gehören das Nordatlantische Tiefenwasser (engl. NADW) und das Antarktische Bodenwasser (engl. AABW) (ebd.).

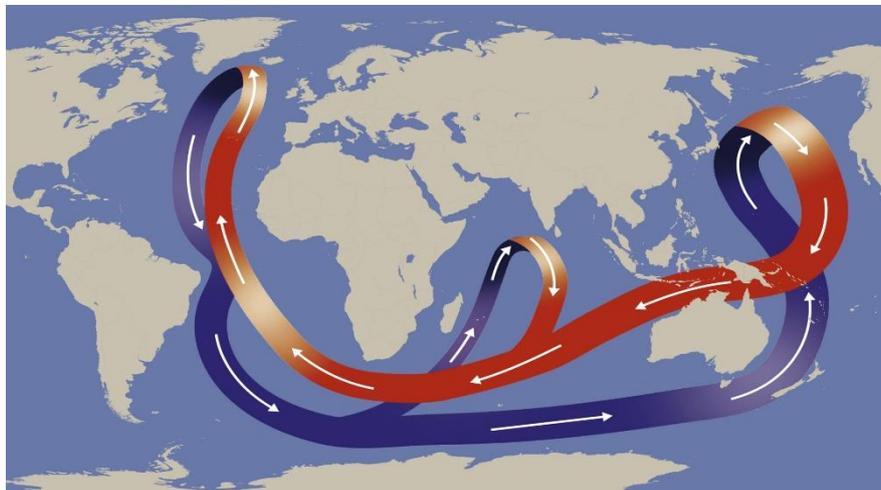


Abbildung 11: Der Ocean Conveyor Belt (aus University Hokkaido, 2020, online)

Das nordatlantische Tiefenwasser (rot) ist etwas wärmer als das antarktische Bodenwasser (blau). Letzteres fließt deshalb in größeren Tiefen, wie auf Abbildung 11 zu sehen, hauptsächlich auf der Südhalbkugel. Das nordatlantische Tiefenwasser fließt dagegen in die Regionen, wo sich das kältere Bodenwasser bildet. Diese Gebiete sind die Labrador- und Grönlandsee auf der Nordhalbkugel und das Ross- und Weddellmeer auf der

Südhalbkugel. Im arktischen Wirkungsbereich befördern sie große Mengen an Wärme nach Nordeuropa (Palmen im Norden Schottlands) (Mc Guffie & Henderson-Sellers, 2005).

Die Variabilität dieser Ozeanzirkulation bewegt sich in glazialen bis hin zu annualen Zeitabständen, innerhalb derer deutliche bzw. weniger deutliche Änderungen nachgewiesen werden konnten. Geht man mehrere zehntausende Jahre in der Zeit zurück, so gab es, mit heute verglichen, andere Zirkulationen. Diese werden darauf zurückgeführt, dass die Verteilungen der Land- und Wassermassen des Planeten in den Eiszeiten eine ganz andere war. Wenn man noch längere Zeitperioden betrachtet, zeigt sich, dass auch die Bewegung der Kontinente im Laufe der Zeit zu unterschiedlichen Ozeanströmen- und Zirkulationen geführt hat. Obwohl die El-Nino Southern Oszillation (ENSO) zu jährlich vorkommenden Beeinflussungen zählt, sich also auf eine viel kürzere Zeitperiode bezieht, ist die Modellierung des exakten Einflusses auf die Ozeanzirkulation für die Wissenschaft immer noch eine große Herausforderung. Welche Mechanismen es gibt, und wie diese funktionieren, ist der Wissenschaft noch immer nicht ganz klar. Vor Allem plötzliche Veränderungen in den Zirkulationsmustern lassen sich schwer erklären, lassen jedoch vermuten, dass kleine Störungen des Wasserkreislaufes des Ozeans große Veränderungen bewirken können. Klar ist, dass die nordatlantische Tiefenwasserproduktion in den letzten 25.000 Jahren stark variiert hat. Man geht davon aus, dass dies mit den Phasen der letzten Eiszeit zu tun hat (ebd.).

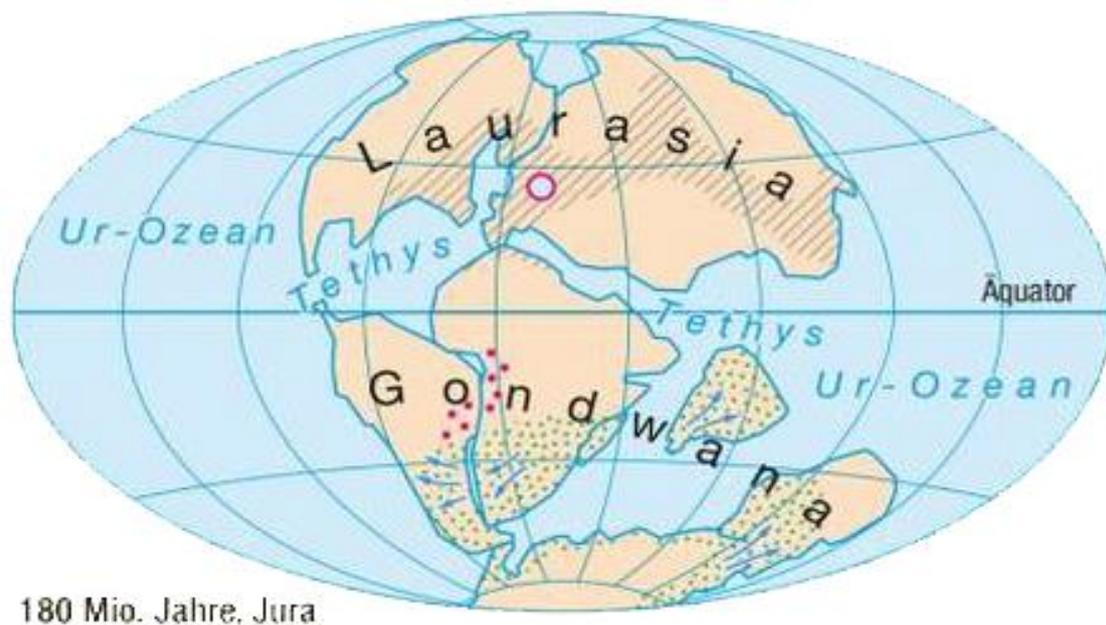


Abbildung 12: Die Verteilung der Landmassen der Erde vor 180 Millionen Jahren (aus GeoSystemErde, 2020, online)

Man weiß auch, dass durch diese Zirkulation Veränderungen am einen „Ende“ des Planeten zu Auswirkungen am anderen führen können. Es gibt Untersuchungen, die ergeben haben, dass der Grund, aus dem unsere Vorfahren in Afrika vor 2.5 bis 5 Millionen Jahren aus den Wäldern in die Savanne emigrieren mussten, jener war, dass eine Verengung des indonesischen Seewegs zu einer Abkühlung des indischen Ozeans geführt hat. Durch die damalige globale Ozeanzirkulation hatte das die Dürre in Ostafrika zur Folge. Solche Forschungen zu validieren ist schwierig, die Untersuchung von Magnesium-Calcium Verhältnissen in Einzellern, ist diesbezüglich aber eine vielversprechende Methode (ebd.).

Die Betrachtung von Meeresoberflächentemperaturen und Bodenwassertemperaturen, abgeleitet von der Isotopuntersuchung von Sedimentkernen haben gezeigt, dass die Temperatur der Meeresoberfläche in den letzten 140 Millionen Jahren kaum Unterschiede zu heute zeigte, die Bodenwassertemperaturen seit der Kreidezeit aber mehr als 10 Kelvin zurückgegangen sind. Die Verteilung der Kontinente war anders und die Pole deutlich wärmer. Das deutet darauf hin, dass der thermohaline Gürtel damals viel höhere Umwälzraten aufwies. Wie sich dies auf unser Klima ausgewirkt haben könnte, ist eine Frage, die in der Zukunft durch Klimamodellierung beantwortet werden muss (ebd.).

Da selbst einfache Modelle die Auswirkung von Vulkanausbrüchen wie dem Mount Pinatubo auf die Durchschnittstemperaturen recht erfolgreich auf saisonalen oder längeren Zeitskalen vorhersagen können, kann darauf vertraut werden, dass Klimavorhersagen nicht durch die gleichen chaotischen Prozesse vernebelt werden, die auch die Wettervorhersagen stören (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

2.6 Emissionsszenarien

Neben den Bestrebungen, unser heutiges Klima und die Faktoren, die dieses bestimmen zu verstehen, ist das wichtigste Anwendungsgebiet von Emissionsszenarien die Berechnung des zukünftigen Klimas. Diese Zukunftsszenarien lassen die Entwicklung natürlicher, nicht menschengemachter Klimafaktoren außer Acht. So soll der Einfluss des Menschen auf das Klima besser verstanden werden. Emissionsszenarien stellen also verschiedene mögliche Klimazukunftsentwicklungen dar, je nach dem zukünftigen Treibhausgasausstoß. Werden also in diesem Zusammenhang Erwärmungs- oder Dürretrends quantifiziert, so spricht man von Sensitivitätsstudien und nicht von

Klimaprognosen. Letztere haben das Ziel, möglichst realitätsnahe Vorhersagen zu machen. Sie konzentrieren sich auf die drei Faktoren der technologischen, wirtschaftlichen und demographischen Entwicklung. Es existieren dabei verschiedene Szenarien, da davon ausgegangen wird, dass sich die verschiedenen Ausprägungen des gesellschaftlichen Umdenkens maßgeblich auf die wirtschaftliche, demographische und technologische Entwicklung auswirken werden. Deshalb gibt es mittlerweile mit Unterszenarien über 40 mögliche Entwicklungen. Diese Szenarien werden in die vier Gruppen A1, A2, B1 und B2 unterteilt. Laut Autoren können alle Szenarien mit gleicher Wahrscheinlichkeit eintreten, Ein Szenario ist also nicht wahrscheinlicher als ein anderes. Obwohl auch andere Spurengase wie Methan, Stickoxide und FCKWs eine Rolle bei der Verstärkung des Treibhauseffektes spielen, sind die wichtigsten Szenarien jene, mit CO₂ Simulationen. Kohlenstoffdioxid bedingt nach Schätzungen etwa 60 Prozent der Verstärkung des Treibhauseffekts, weshalb sich die meisten Szenarien auch auf die Auswirkungen dieses Gases konzentrieren (Paeth, 2007).

CO₂ wird in der Atmosphäre in Sulfataerosole umgewandelt, kleine Salze, deren Absorptionsverhalten sich in Bezug zu langwelliger- und kurzwelliger Einstrahlung deutlich unterscheidet. Gegenüber kurzwelliger Strahlung tritt eine deutlich stärkere Absorption ein, wodurch einer Erwärmung bodennaher Luftschichten entgegengewirkt wird. So haben diese Gase auch Einfluss auf die Wolkenbildung. In den Jahren von 1940 bis 1970 wurde eine Abkühlphase beobachtet, welche heute darauf zurückgeführt wird, dass durch unsaubere Verbrennungsvorgänge eine große Menge an Sulfat Aerosolen ausgestoßen wurde. Auch deshalb gibt es in vielen Industrieländern heute Katalysatoren und spezifische Filtertechniken, um diesen Einflüssen entgegenzuwirken. (ebd.).

2.6.1 Emissionsszenario A1

Das Szenario A1 geht von einer maximalen Bevölkerung und einem sehr schnellen Wirtschaftswachstum zur Mitte des Jahrhunderts hin, beziehungsweise im Laufe des Jahrhunderts aus. Durch neue Technologien und soziokulturelle Interaktionen werden soziale Disparitäten verringert. Die Unterszenarien beziehen sich darauf, wie die Energiegewinnung gewährleistet wird. Das Szenario A1FI prognostiziert die Energiegewinnung zu einem großen Teil aus fossilen Brennstoffen, und ist deshalb das „Worst-Case-Szenario“ mit dem größten menschlichen Einfluss auf den Planeten. A1T simuliert die Zukunft der Energiegewinnung durch regenerative Energieträger, Szenario

A1B durch eine Mischform der beiden anderen Szenarien. A1F entspräche einer Vervierfachung des Treibhausausstoßes der Zeit vor der Industrialisierung und wurde das letzte Mal vor rund 65 Millionen Jahren gemessen (Mesozoikum). Bezüglich Schwefeldioxidemissionen zeigt dieses Szenario einen Anstieg bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von starkem Abfall. Die menschengemachte Klimaerwärmung betreffend, zeigen die anderen Szenarien bessere Zukunftsprognosen (Paeth, 2007).

2.6.2 Emissionsszenario A2

Noch ungünstiger als das A1FI Szenario wäre das Eintreffen von A2. Durch starke Identitäten mit Autonomiebestrebungen und regional hohe Geburtenraten in den Entwicklungsländern vollzieht sich ein kontinuierliches Bevölkerungswachstum über das gesamte Jahrhundert. Durch unterschiedliche technologische Entwicklung und Wirtschaftswachstum manifestieren sich immer größere Disparitäten, welche besonders schlechte Entwicklung der Emissionen zur Folge haben (ebd.).

2.6.3 Emissionsszenario B1

Das Szenario B1 unterscheidet sich vom Szenario A1 im Bezug zur wirtschaftlichen Entwicklung, die Bevölkerungsentwicklung betreffend wird ein ähnlicher Verlauf angenommen. Die Wirtschaft entwickelt sich dahingehend, dass sich eine Dienstleistungsgesellschaft bildet, die die Möglichkeit hat, saubere Technologien zu nutzen. Nicht nur deshalb ist der Gedanke der Nachhaltigkeit fest in der sozialen, ökologischen und ökonomischen Entwicklung verankert. Würde das B1 Szenario eintreten, wären die Schwefeldioxid- und Kohlenstoffdioxidemissionen sehr gering, würden im Vergleich zu heute also stark zurückgehen. Dieses Szenario gilt als günstigstes Szenario (ebd.).

2.6.4 Emissionsszenario B2

Das Szenario stellt eine Art Mischform aus B1 und A2 dar. Die Emissionen von Kohlenstoff- und Schwefeldioxid bewegen sich in einem mittleren Bereich. Deshalb gibt es auch Nachhaltigkeitsbestrebungen, welche jedoch nur teilweise regional etabliert werden können. Die Erdbevölkerung steigt kontinuierlich, aber langsam, an und das wirtschaftliche Wachstum und der technologische Fortschritt schreiten voran. Verglichen mit dem Szenario B1 allerdings in verzögertem Ausmaß. Umweltschutz und Angleichung

sozialer Disparitäten spielen eine Rolle, können aber nur gebietsweise Resultate erzielen (Paeth, 2007).

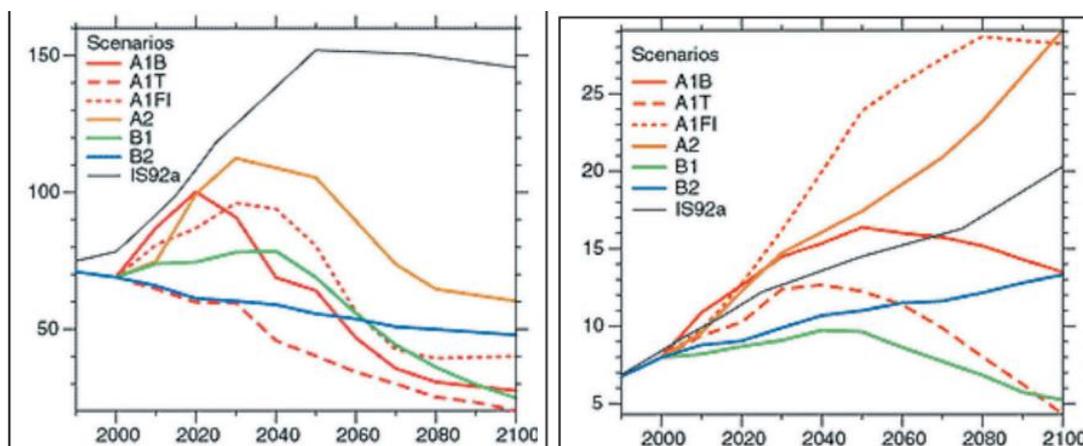


Abbildung 13: Die verschiedenen Emissionsszenarien von Kohlenstoffdioxid (links) und Schwefeldioxid (rechts) im Zeitraum von 1990 bis 2100. (aus Paeth, 2007, S.48)

2.6.5 Szenarienvergleich in Zahlen

Vergleicht man die Szenarien, so fällt auf, dass alle eine Erwärmung voraussagen, wenn auch in unterschiedlich starker Ausprägung. Nach dem bisherigen Wissen über die Funktionen und Auswirkungen von Strahlungshaushalt und Treibhauseffekt wirkt sich eine Veränderung dieser Komponenten auf die Luftschichten in unmittelbarer Bodennähe aus. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, den globalen, anthropogen verursachten Klimawandel anhand dieser Luftschichten zu messen. Sie gelten mit ihren unterschiedlichen Temperaturen als wichtigster Indikator zur Messung.

So lässt sich in Annahme des ungünstigsten Szenario A2 eine mittlere Temperaturerhöhung der bodennahen Luftschichten von 3.6 °C, für das B1 Szenario 1.8 °C errechnen. Das Ausmaß der Erwärmung, das uns erwartet, zeigt sich durch die Tatsache, dass sich die Temperatur sogar um 0.6 °C bis zum Jahr 2100 erhöhen würde, wenn man davon ausgeht, dass es ab 2000 keine Erhöhung der Emissionen mehr gab und geben wird. Zu erwähnen ist, dass sich einerseits nicht sagen lässt, welches Szenario eintreten wird, und die Szenarien an sich durch sehr große Unsicherheitsbereiche gezeichnet sind. Je nach Szenario ist aber eine Temperaturerhöhung von mindestens 1.1 °C und höchstens 6.4 °C zu erwarten, was einer durchschnittlichen Erhöhung von 2.8 °C entspräche. Klar ist, dass schon die minimalste Veränderung große Auswirkungen auf den

Planeten haben kann, denn die Veränderung der Bodennahen Luft wirkt sich in weiterer Folge auf die anderen das Klima bedingenden Faktoren, wie Wind, Bodendruck, Niederschlag usw. aus (ebd.).

Auch zu beachten ist, dass sich die Veränderungen der Temperaturwerte lokal sehr stark unterscheiden können, obwohl die Verteilung der Treibhausgase sehr homogen ist. Die Erwärmung könnte in den polaren Regionen im Nordwinter mit bis zu 7.5 °C am stärksten sein, da durch das Schmelzen der Eisflächen die Albedo dieser Gebiete deutlich verringert wird. Im größten Gegensatz dazu stehen die Meeresregionen der mittleren Breiten wo sich die Erwärmung in „nur“ 0.5 bis 1.5 °C äußern könnte (ebd.).

Bis auf die geringere Erwärmung der Polregionen ergibt sich im Nordwinter ein ähnliches Bild. Der Niederschlagseintrag wird genau in den subtropischen Bereichen noch geringer. Diese Regionen (Mittelmeerbereich, Sahara, vorderer Orient und Zentralasien) sind ohnehin schon sehr trocken. Mehr Niederschlag würde es im Sommer und Winter in den mittleren und hohen Breiten beider Halbkugeln, sowie innertropischen Regionen geben. Der Bodendruck wird sich über den Meeresregionen der mittleren Breiten erhöhen und in den Polarregionen sinken, was zum erhöhten Aufkommen von Orkanen und Sturmtiefs führen könnte, weil sich im Winter auf der Nordhalbkugel der Druckgradient in meridionaler Richtung verstärken würde. Dieser ist für die Ausprägungen der Westwinde und Tiefdruckgebiete verantwortlich (Paeth, 2007).

Emissionen: Szenarienvergleich bis 2100				
Szenario	Bev. Entwickl.	Soziale Disparitäten	Emissionen	Zusammenfassung
A1	Maximierung	Verringerung	sehr starke Erhöhung	Worst Case Szenario
A2	kontinuierliches Wachstum	Verschärfung	starke Erhöhung	schlechtes Szenario
B1	Maximierung	Best Case (wg. wirtsch. Entwickl.)	starke Verringerung	gutes Szenario
B2	kont., langsames Wachstum	gebietsweise Verringerung	leichte Verringerung	neutrales Szenario

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen Emissionsszenarien (eigene Darstellung)

2.7 Meteorologische Extremereignisse

Unter meteorologischen Extremereignissen fasst man Starkniederschlagsereignisse, Stürme, Hitzetage in einem bestimmten Zeitraum, Trocken- und Dürreperioden, Hitzewellen und Überschwemmungen zusammen. Wegen ihrer meist akut sichtbaren Auswirkungen sind sie aus sozioökonomischer Sicht von vielen besonders gefürchtet. Die

Erfassung der Häufigkeit und Intensität dieser Ereignisse ist äußerst komplex und deshalb immer mit großer Unsicherheit verbunden. Die Niederschlagsintensität betreffend, simulieren alle Modelle eine deutliche Erhöhung bis 2021. Diese beträgt mehr als vier Standardabweichungen Unterschied zum Mittel. Ein Ereignis dieser Intensität kommt sonst im Rahmen der natürlichen Klimavariabilität nur etwa alle 1000 Jahre vor, was als Indiz des menschlichen Einflusses auf das Klima gesehen werden kann. Intensivierung von Niederschlagsereignissen bleiben auch genau in den Gebieten aus in denen es noch trockener werden wird (vgl. Kapitel 2.6.5 Szenarienvergleich in Zahlen) (Paeth, 2007).



Abbildung 14: Das Auge des Wirbelsturms Katrina (aus Spiegel, 2005, Online)

Ein weiteres großes Problem könnte der Anstieg des Meeresspiegels werden, der sich in Zukunft durch das Schmelzen der Inlandseismassen beschleunigen könnte. Seit der Industrialisierung ist dieser bereits um 8cm gestiegen. Die Bewältigung der Auswirkungen dieses Trends, wird besonders für Küstenländer eine große Herausforderung werden. Diesbezüglich zeigen alle Modelle ähnliche Prognosen, wonach es zu bis zu 60 Zentimeter Anstieg nach A1FI bzw. mindestens 20 Zentimeter Anstieg nach Szenario B1 kommen könnte. Die Unsicherheitsbereiche zeigen stärkere Ausprägung als die mittleren Unterschiede zwischen den Szenarien, weshalb auch diese Prognosen mit Vorsicht zu genießen sind. Auch die 60 Zentimeter Prognose ist allerdings eine positive, verglichen

mit den Abschätzungen der 1990er Jahre, welche mehrere Dekameter voraussagten. Grund dafür ist, dass die in den letzten Jahren immer stärker werdenden Niederschlagseinträge im antarktischen Gebiet den Einfluss des Kalbens an den Rändern des Eisschildes übertreffen. So geht die Antarktis auch als negativer Einfluss in die Statistik der Meeresspiegelerhöhung ein (Paeth, 2007).

2.8 Fazit zur Klimaberechnung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde das Thema Klimaberechnung mit den dazu notwendigen Variablen und Techniken behandelt. Dabei wurde immer wieder deutlich, dass es hinsichtlich der Berechnung der Auswirkungen verschiedener Faktoren auf das Klima und somit der Genauigkeit der Prognosen im Allgemeinen große Unsicherheiten gibt. In diesem Kapitel wird nun beschrieben, welche Möglichkeiten es gibt, die sich oft unterscheidenden Prognosen verschiedener Modelle zu einem brauchbaren Fazit zusammen zu fassen. Einerseits lassen sich Klimaveränderungen wie Temperaturanstieg, damit einhergehende Veränderungen der atmosphärischen Verhältnisse und ozeanischen Zirkulationen, sowie vermehrte Extremereignisse mit relativ großer Sicherheit auf die menschlichen Einflüsse zurückführen. Andererseits weiß man über die historischen Klimaschwankungen Bescheid. Es ist also immer schwierig, zu bestimmen, ob bei den heutigen Verhältnissen ebenfalls solche immer wieder vorkommenden natürlichen Schwankungen eine Rolle spielen. Wie schon angesprochen variieren die Prognosen der Emissionsszenarien im Bereich von 1.1 °C bis 6.4 °C plus im globalen Mittel, lokal können die Unterschiede noch bedeutender sein (Paeth, 2007).

Doch noch größer ist die Variabilität bei den Prognosen des zukünftigen Niederschlags. Hier können sich die unterschiedlichen Modelle sogar hinsichtlich eines Rückgangs oder einer Zunahme des Niederschlags widersprechen. Um Anpassungsstrategien und Präventionsmaßnahmen erarbeiten zu können, sind solche Prognosen wenig brauchbar. Deshalb gibt es statistische Verfahren wie die doppelte Varianzanalyse. Sie teilt die gesamte Datenmenge verschiedener Modelle in vier Varianzanteile. Dazu gehören der Einfluss der Treibhausgaskonzentration, die Modellunsicherheit, die natürliche Variabilität und ein Faktor, der aus der unterschiedlichen Sensitivität der Klimamodelle gegenüber den vorgeschriebenen Emissionsszenarien hervorgeht. Der Vorteil ist die beliebige Anwendbarkeit auf bestimmte Variablen oder Regionen. Somit kann der Einfluss der Treibhausgaskonzentration räumlich getrennt betrachtet werden (ebd.).

Blickt man auf Abbildung 15, so fällt auf, dass sich die Klimasensitivität der verschiedenen Modelle kaum unterscheidet. Das Feld rechts oben zeigt die anthropogenen Auswirkungen durch die verursachte Treibhausgaskonzentration bzw. deren Varianz. Die Varianz wird berechnet, indem die Summe der quadrierten Abweichungen aller Werte vom arithmetischen Mittel durch die Anzahl der Messwerte dividiert wird (Statista, n.d.). Auffallend sind die global verteilten, hohen Werte der Varianz dieses Faktors. So sind in den Ozeanregionen der niederen Breiten Varianzanteile von bis zu 90 Prozent ersichtlich. Interessant sind auch die deutlich geringeren Anteile der Varianz in den südlichen Breiten, in den Subtropen und Teilen der mittleren Breiten, sowie in Hochgebirgsregionen, an Meereisrändern und in den Entstehungsregionen der außertropischen Tiefdruckgebiete im Nordatlantik und Nordpazifik. Letztgenannte Regionen sind auch jene, die auf Abbildung 15 eine sehr große Modellunsicherheit aufweisen (rechts unten). Die verschiedenen Simulationen unterscheiden sich also besonders in den Hochgebirgsregionen, entlang der Meereisränder und an den Rändern des grönländischen und antarktischen Eisschildes (ebd.).

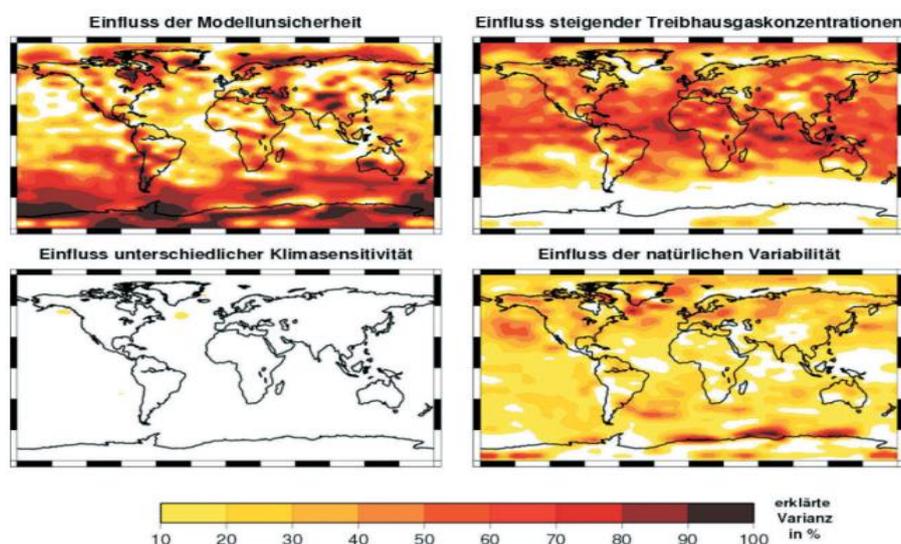


Abbildung 15: Die vier Einflussfaktoren der doppelten Varianzanalyse (aus Paeth, 2007, S54)

Wegen des immer noch unvollkommenen menschlichen Verständnisses des planetaren Klimasystems und der sich immer mehr verstärkenden, jedoch immer noch begrenzten Computerrechenleistung müssen nach wie vor viele Faktoren des Klimasystems durch Parametrisierung berechnet werden. Das hat zur Folge, dass verschiedene Klimasimulationen verschiedenen Unsicherheiten unterliegen und es häufig größere Diskrepanzen zwischen den Modellen gibt. Obwohl die Klimamodelle im globalen Kontext

nicht für bare Münze genommen werden können, lassen sich aber durch die Isolation von Faktoren, besonders auf regionaler Ebene betrachtet, wichtige Erkenntnisse ableiten, die unser Verständnis zum Klima immer weiter verstärken (ebd.).

3. Kartographische Kommunikation

Kapitel 3 beschäftigt sich in knapper Form mit kartographischer Kommunikation, den dazu entstandenen Erklärungsmodellen und damit, wie sich diese Art der Kommunikation im Laufe der Zeit verändert hat.

3.1 Kommunikationsmodelle

Erhält ein Empfänger schnell und kompakt die Information, nach der er sucht, stellt das gute Kommunikation dar. Der Sender muss dafür sorgen, dass Informationen möglichst realitätsgetreu beim Empfänger ankommen. Kartographen versuchen das mittels Karten zu bewerkstelligen. In ihnen werden an den Empfänger adressierte abstrahierte oder generalisierte Informationen zur Wissensvermittlung dargestellt. Diese Art der Kommunikation nennt man deshalb kartographische Kommunikation (Knöpfli, 1981).

Im Laufe der Zeit wurden dazu kartographische Kommunikationsmodelle entwickelt und definiert. Der Begriff Kommunikation ist erstmals im lateinischen Wort „communicatio“ zu finden, das so viel bedeutet wie Verkehr, Verbindung oder Mitteilung. Partner des Austausches können Menschen, Tiere, Pflanzen oder Maschinen sein (Pflegeter, 2020).

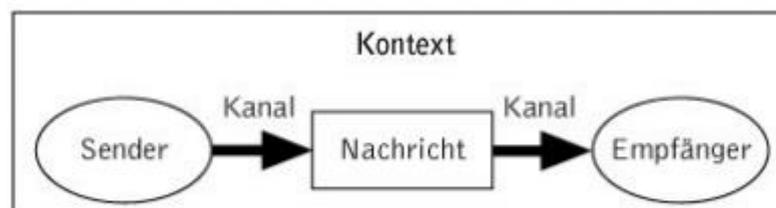


Abbildung 16: Das Sender-Empfänger-Modell nach Shannon & Weaver (1994) (aus Pfelegeter, 2020, S85)

Das „Sender-Empfänger-Modell“ geht auf Shannon & Weaver (1949) zurück und kann als eines der ersten Modelle gesehen werden, das Kommunikation erklärt. Information wird demnach mittels einem Zeichensystem zwischen Sender und Empfänger übertragen, das beiden Teilnehmern bekannt ist. Es wird eine in bestimmtem Zeichensystem encodierte Information über einen Sendekanal vom Sender an den Empfänger geschickt. Letzterer dekodiert die Information und erhält den Erkenntnisgewinn (ebd.).

Tainz (2010) geht auf die Anwendung des Sender-Empfänger-Modells im kartographischen Kontext ein. Laut ihm geht es dabei um ein- oder mehrseitige Übermittlungsprozesse bei der Aufnahme, Verarbeitung und dem Austausch von Informationen mit Raumbezug. Dies geschieht mittels kartographischen Medien unter Verwendung von Kartenzeichen und Sprache (Tainz, 2010).

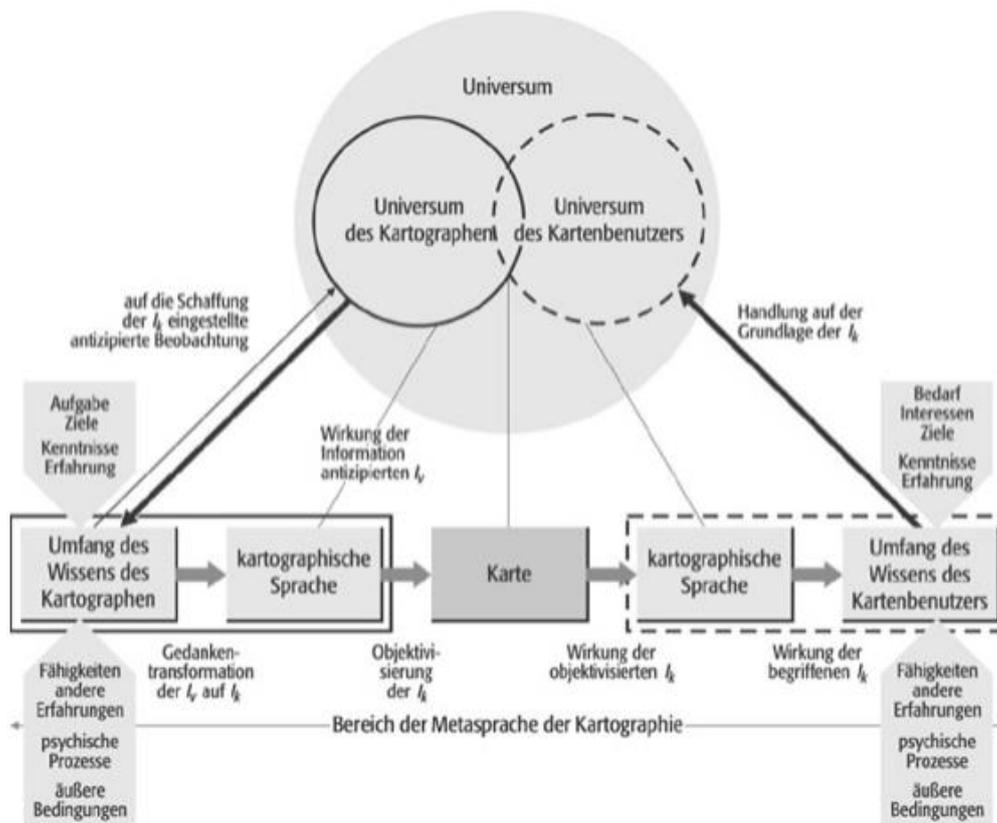


Abbildung 17: Kartographisches Kommunikationsmodell nach Kolacny (aus Pflegperter, 2020, S59)

Auch zur kartographischen Kommunikation haben sich im Laufe der Zeit Modelle etabliert. Das erste wichtige wurde von Kolacny (1968) entwickelt und gilt heute als prototypischer Vertreter kartographischer Kommunikationsmodelle. In diesen klassischen Kommunikationsmodellen der Kartographie nimmt der Kartograph die Rolle des Senders ein. Von diesem Sender werden raumzeitliche Modelle der Realität über ein kartographisches Medium meist generalisiert kommuniziert. Der Entwurf der Karte entspricht der Enkodierung der Kommunikation im Sender-Empfänger Modell - die Karte selbst ist also als Kommunikationskanal zu betrachten. Der/die Kartennutzer/In wiederum dekodiert die Information des Kartographen und erweitert sein Wissen, allerdings im

Kontext seiner eigenen Kartenlesefähigkeiten. Kartenlesen bedeutet also das Dekodieren kartographischer Information. (Pfleger, 2020).

Kartographische Kommunikation wird also mittels einer Auswahl an Zeichen bewerkstelligt. Dazu ist es wichtig einen genaueren Blick auf die **Zeichentheorie** zu werfen, auch **Semiotik** oder **Semiologie** genannt. Zeichen der kartographischen Kommunikation fallen unter die sogenannte Kartensemiotik. Eine Kartensignatur kann demnach entweder **Syntaktik**, **Semantik** oder **Pragmatik** zugeordnet werden:

- „1. **Syntaktik**: Die Kartosyntaktik untersucht die formale Bildung, sowie die bedeutungsunabhängige Beziehung von Signaturen zueinander. Dabei spielen Aspekte wie die Lage von Zeichen in der Karte und zueinander oder die Lesbarkeit in Bezug auf Unterscheidbarkeit und graphischen Kontrast eine wichtige Rolle.
-
- **2. Semantik**: Die Kartosemantik betrifft die Beziehung einer Signatur zu dem Gegenstand, den sie abbildet. In der semantischen Dimension eines Kartenzeichens kommt also die Zeichenbedeutung zum Ausdruck. Grundsätzlich liefert die Zeichenerklärung einer Karte die eindeutige Bedeutung einer Signatur. In der Kartographie werden aber oft Übereinstimmungen, Ähnlichkeiten, Analogien oder Konventionen eingesetzt, um die gedankliche Übereinstimmung von Kartenzeichen und abgebildetem Objekt bei der Kartennutzung zu erleichtern.
-
- **3. Pragmatik**: Die Kartopragmatik untersucht die Beziehung zwischen der Signatur (einschließlich ihrer Bedeutung) und dem/der Kartennutzer/In. Die pragmatische Dimension eines Kartenzeichens beschäftigt sich damit, wie das Zeichen interpretiert wird und nimmt damit Einfluss auf die Verhaltensweise des/der Kartennutzers/In. Hierbei spielen perceptions- und kognitionsbezogene Faktoren eine wichtige Rolle. Das Vorhandensein von räumlichem Wissen und die Fähigkeit, eine Karte lesen zu können, sind entscheidende Einflussgrößen in pragmatischen Fragestellungen“

(Pfleger, 2020, S60).

Zu erwähnen ist, dass es einige neuere Modelle zur kartographischen Kommunikation gibt. Diese stammen von Board (1967), Freitag (1971) oder etwa Hake (1973). Sie verfolgen teilweise auch andere Ansätze als bei Kolacny (1968). Hake et al (1973) beispielsweise modelliert in seinem Tertiärmodell kartographische Kommunikationsvorgänge als Abfolge von Umweltmodellen (Pfleger, 2020).

3.2 Beispiele gelungener kartographischer Kommunikation

Zanesville: Eine gute Darstellung eines gelungenen Falles von kartographischer Wissenskommunikation bietet ein Beispiel aus den USA. Im US-Bundesstaat Ohio in der Stadt Zanesville kam es im Jahr 2008 zu einer Gerichtsverhandlung zwischen den ansässigen Bürgern der Stadt und deren Verwaltung. Teile der Stadtbevölkerung blieben über 50 Jahre lang bewusst von der städtischen Wasserversorgung abgetrennt, trotz vermehrter Proteste der Bürger. Das Gerichtsverfahren wurde seitens der Bürger entschieden, da eine Vielzahl von Karten zum Einsatz kam. Die wichtigste stellte die Hautfarbe der Bevölkerung dar und jene Gebiete, welche nicht an die Wasserversorgung angeschlossen waren. Der Richter erkannte auf der Karte einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Hautfarbe und Wasserversorgung. Der von der Wasserversorgung abgetrennten farbigen Bevölkerung wurden fast 11 Millionen Euro Schadensersatz aufgrund ethnischer Diskriminierung zugesprochen (Mämecke et al., 2018)

An diesem Beispiel merkt man deutlich die politische Komponente, welche der kartographischen Kommunikation häufig anlastet. So auch bei der interaktiven Webkarte, die im Rahmen dieser Arbeit entstehen soll. Eine Thematik mit stark politischer Komponente – die Auswirkungen der Klimawandels - kann effektiv kommuniziert werden. Es sollen die Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse und Temperatur der Zukunft dargestellt werden. Die Oberfläche der Erde wird dazu nur farblich in Rasterzellen dargestellt, die wirkliche Erdoberfläche ist gar nicht mehr zu sehen. In diesem Fall wird also die Thematik des Klimawandels aufgegriffen und über eine interaktive Webanwendung wiedergegeben. Der/die Nutzer/In soll sich voll auf die verändernden Klima- und Temperaturverhältnisse in der Zukunft konzentrieren können. Der Grundsatz „weniger ist mehr“ gilt heute nur noch selten. Häufig wird eine viel zu große Menge an Informationen übertragen, was dazu führt, dass der Empfänger kognitiv überlastet wird und nicht die Informationen gewinnen kann, deren Übermittlung vom Sender beabsichtigt

war. Auch deshalb wird der Fokus bei meiner Anwendung darauf liegen nur die beiden oben angesprochenen Veränderungen zu transportieren, um den/die Nutzer/In nicht zu überfordern (Es gäbe eine Vielzahl weitere, das Klima bedingende und sich in der Zukunft verändernder Einflussgrößen). Ein wichtiger Faktor ist also zu definieren, wer die Zielgruppe der Anwendung beziehungsweise wer die Informationsempfänger sein werden. Handelt es sich dabei um Klimaexpert/Innen wäre eine größere Fülle an dargestellten Sachverhalten möglich, ohne eine Überforderung herbei zu führen, als beim Laienpublikum (Knöpfli, 1981).

Luftbild: Betrachtet man Abbildung 18, so fällt auf, dass das Luftbild deutlich mehr Informationen als die nebenstehende Karte darstellt. Man würde also glauben, dass das Luftbild die bessere Wahl zur Informationsdarstellung ist. Es kommt dabei allerdings immer darauf an, welche und wie viele Informationen zu einem Gebiet überliefert werden sollen. Geht es dem Kartennutzer/der Kartennutzerin in diesem Fall darum, die Karte zur Navigation zu nutzen, wäre das Luftbild keine große Hilfe, weil es für diesen Zweck zu viele, nicht benötigte Informationen darstellt. In der Generalisierung liegt also auch eine der Stärken gelungener kartographischer Kommunikation (Knöpfli, 1981).

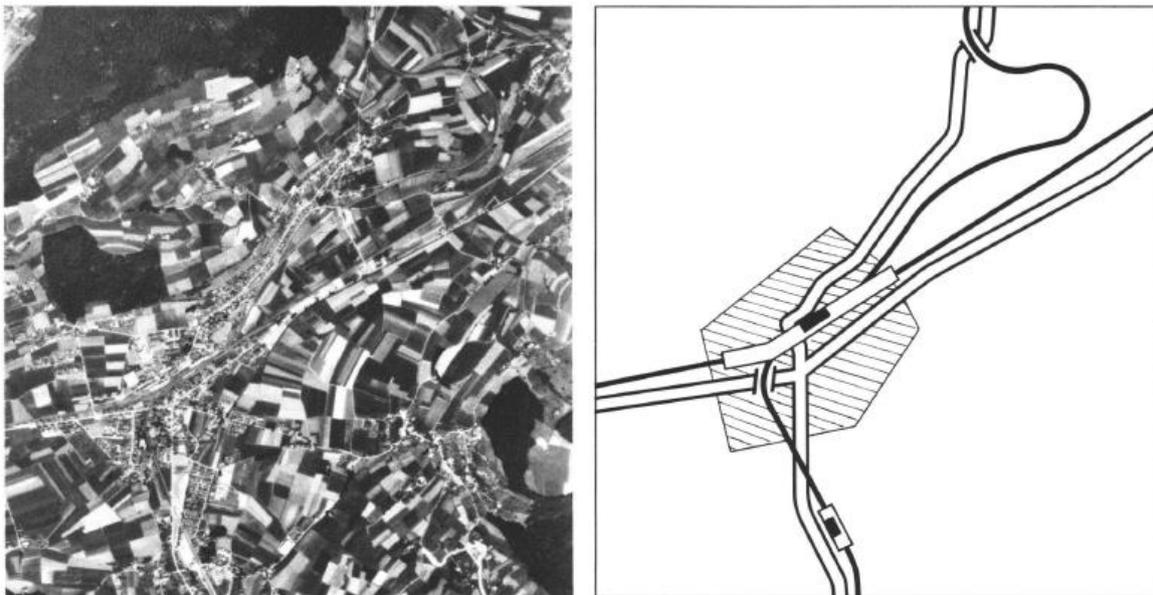


Abbildung 18: Informationsvergleich einer Karte mit einem Luftbild derselben Fläche (aus Bräuchli, 2001, S114)

3.3. Digitalisierung und der Wandel kartographischer Kommunikation

Die oben angesprochenen Modelle zur kartographischen Kommunikation gelten als Anfänge diese Art der Kommunikation. Im Kontext der neuen digitalen Medien müssen sie als überholt betrachtet werden.

Die größte Veränderung bezieht sich darauf, dass der Prozess der Kommunikation nicht mehr nur in eine Richtung statisch ausgelegt ist, sondern im Rahmen verschiedenster Prozesse beidseitig verläuft, also von dem/der Kartographen/Kartographin zu dem/der Nutzer/In und vice versa. Die zwei Richtungen der Kommunikation können zeitlich unterschiedlich, aber auch gleichzeitig geschehen. Im Sender-Empfänger-Modell wird auf Grundlage der damaligen Kartographie von der Karte als einziges Kommunikationsmedium in Papierform ausgegangen und von der Trennung der Prozesse der Herstellung und des Nutzens. Das damalige Modell kann deshalb auch als monodirektionales Sender-Empfänger-Modell betrachtet werden. Anmerkungen zur Veränderung oder Verbesserung der Karte durch den/die Nutzer/In an den/die Ersteller/In, die heute oft mittels einem einzelnen Mausklick bewerkstelligt werden, konnten in der analogen Zeit Jahre oder Monate dauern, bis sie zu dem/der Ersteller/In gelangen. Verbesserungen konnten also oft erst in neuen Auflagen der betreffenden Kartenwerke umgesetzt werden (Pflegeter, 2020).

Wegen dieser Unterschiede ist festzuhalten, dass analoge Kartographie und deren Kartenwerke zwar immer noch einen Platz im Kartenwesen genießen, der Großteil der heutigen Kartenwerke aber in digitalem Format erstellt und genutzt wird. Aus der analogen Kartographie haben sich die Internet-Kartographie (web cartography), mobile Kartographie (mobile cartography), die ubiquitäre Kartographie (ubiquitous cartography) und die NeoGeography differenziert. All diese neueren Formen zeichnen sich dadurch aus, dass Informationsrückkoppelungen besser im Prozess implementiert werden können (ebd.).

4. Interaktivität

In diesem Kapitel soll zuerst der Begriff Interaktivität abgeklärt werden und dann dessen Rolle in der modernen, digitalen Bildung besprochen werden. Gibt es den Lerneffekt betreffend Unterschiede im Gegensatz zu herkömmlichen, nicht-interaktiven Medien wie Text, Video oder Fernsehen?

4.1 Die Definition des Begriffes Interaktivität

Weber et al. (2016) argumentieren in einem ihrer Artikel, dass das Konzept „Interaktivität“ noch immer nicht eindeutig abgeklärt ist und manchmal widersprüchlich verwendet wird. Als Grund dafür sehen Sie, dass sich Interaktion sowohl auf Mensch zu Mensch aber auch auf Mensch zu Maschine- bzw. Maschine zu Maschine Interaktion beziehen kann. Eine Definition von Interaktivität im Zusammenhang mit Onlinetext in Ihrem Artikel aus dem Englischen übersetzt lautet:

Die Interaktivität eines Online-Textes kann charakterisiert werden durch die Vielfalt der Modalitäten, die sie dem/der Benutzer/In bietet, um die verschiedenen Teile einer Website zu erleben, vom einfachen Text bis hin zu Grafiken, Animationen, Audio und Video. Je mehr Möglichkeiten ein Text oder eine Website anbietet, desto größer ist seine Interaktivität, weil es dem/der Benutzer/In möglich ist, mit mehreren seiner/ihrer Sinne mit der Website zu interagieren. Je mehr ein Objekt oder ein System durch sensorische Kanäle erfasst werden kann, desto wahrscheinlicher und stärker wird es als interaktiv wahrgenommen (Weber et al., 2016).

Laut Cermak-Sassenrath (2015) wird Interaktivität in Bezug auf das Medium Computer als „Zusammenspiel von intensiver, medialer Darstellung eines Inhalts mit dem eigenen, entscheidenden Handeln und der differenzierten Reaktion des Rechners darauf“ dargestellt (Cermak-Sassenrath, 2015, S21).

Laurel (1993) definiert drei Variablen der Interaktivität im Umgang mit dem Computer – **frequency**, **range** und **significance**. Diese bedeuten, dass dem User viel, andauernde und regelmäßige Aktivität möglich sein muss (frequency), eine breite Auswahl an Entscheidungsmöglichkeiten gegeben sein muss (range) und er Einfluss auf den Fort- und Ausgang der Interaktion haben muss (significance) (Laurel, 1993).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Grad an Interaktivität steigt, mit:

Interaktivität	Steigender Möglichkeit verschiedene Sinne zu nutzen
	Steigenden Möglichkeiten eines Systems auf Nutzereingaben zu reagieren
	Steigenden Möglichkeiten zur Manipulation von Form, Inhalt und Präsentation
	Steigenden Möglichkeiten zur Kontrolle über ein System

4.2 Der Effekt von Interaktivität auf Wissenskommunikation

Es gibt bereits Studien zum Effekt, den interaktive Medien auf den Erfolg von Wissensvermittlung haben. Diese sollen im folgenden Kapitel vorgestellt und deren Ergebnisse diskutiert werden. Es ist anzumerken, dass sich die erste Studie nicht direkt auf den Effekt interaktiver Anwendungen auf die Wissensvermittlung bezieht, sie aber ein sehr gutes Beispiel dafür ist, wie die Meinung zu einem Thema durch die Nutzung einer interaktiven Anwendung gestärkt wurde.

4.2.1 Studie von Herring et al. (2017)

Heute gibt es bereits eine Vielzahl an Studien, welche einen positiven Effekt interaktiver Medien auf Wissenskommunikation suggerieren (Weber et al., 2016). Am Anfang dieser Arbeit wurde bereits auf die Studie von Herring et al. (2017) "Communicating local climate risks online through an interactive data visualization" eingegangen, bei der untersucht wurde, wie sich die räumliche Nähe untersuchter Städte auf die Einstellung zum Klimawandel durch die Nutzung einer interaktiven Anwendung verändern kann (Herring et al. 2017)

Dazu fand eine Zusammenarbeit zwischen Softwareentwickler/Innen, Klimawissenschaftler/Innen und der Texas Tech University statt. Das Ziel war es, eine interaktive, öffentlich zugängliche kartenbasierte Klimavisualisierung zu erstellen mit der überprüft werden kann, ob sich deren Nutzung auf die Einstellung zum Klimawandel auswirkt. Die Anwendung sollte es für die Nutzer/Innen möglich machen, lokale Interessensgebiete hinsichtlich der auf verschiedenen Emissionsszenarien basierenden, unterschiedlichen

Entwicklung des Klimas zu betrachten. Das finale Produkt wurde ClimateData.US genannt (ebd.).

Um die Problemstellung zu untersuchen, wurden die Probanden gebeten, entweder nahegelegene oder weiter entfernte Städte mit der Website virtuell zu besuchen und zu untersuchen. Um die Veränderung der Einstellungen zum Klimawandel durch die Nutzung der Anwendung zu erheben, wurden die Probanden vor und nach der Nutzung mittels Fragebogen befragt (ebd.).

Insgesamt nahmen 55 Probanden an der Studie teil. Über die Studie selbst wurde im Vorfeld nur preisgegeben, dass die Teilnehmer mit einer Online-Anwendung interagieren sollten. Vor dieser Interaktion wurde versucht, offene Fragen der Probanden zu beantworten um die Studie vorurteilsfrei durchführen konnten. Die Interaktion der Probanden mit der Anwendung wurde hinsichtlich des Nutzerverhaltens aufgezeichnet, um dieses im Nachhinein analysieren und verstehen zu können. Sie bestand aus zwei Teilen (ebd.).

Im ersten Teil bekamen die Student/Innen - aufgeteilt in zwei Gruppen - die Aufgabe, drei vorbestimmte Städte in der Suchleiste zu finden und deren Umgebungen zu erkunden. Die Lage der Städte war so gewählt, dass eine Gruppe die Städte in unmittelbarer Nähe untersuchte und die andere weiter entfernt gelegene. Somit konnte eruiert werden, ob die räumliche Nähe der betrachteten Städte einen Einfluss auf die Einstellung zum Klimawandel hat. Nach diesem vorgegebenen Teil konnten die Probanden die Webseite nach ihrem eigenen Interesse für 15 Minuten nutzen. (ebd.).

4.2.1.1 Ergebnisse der Studie von Herring et al. (2017)

Um die Ergebnisse zu evaluieren, wurden drei gemischte Varianzanalysen durchgeführt. Durch die Befragung vor und nach der Interaktion gab es für jeden Probanden zwei Ergebniszeitpunkte, durch die räumliche Aufteilung der Städte zwei Probandengruppen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Besorgnis über den Klimawandel nach Besuch der Webseite signifikant angestiegen war. Auch die Gewissheit, dass der Klimawandel stattfindet, stieg deutlich an. Obwohl die Studie auch dafür designt wurde, die Annahme, dass räumliche Nähe bei der Einstellung zum Klimawandel eine Rolle spielt, zu überprüfen, konnte das nicht bestätigt werden. Von diesem Ergebnis zeigten sich die

Autoren selbst überrascht, denn es herrscht in der gegenwärtigen Literatur sehr wohl die Meinung, dass zumindest geographische oder zeitliche Nähe eine Rolle spielt. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Verringerung der zeitlichen Nähe betreffend die Meinung zum Klimawandel einen größeren Einfluss hat als die geographische Nähe (Herring et al., 2017).

4.2.2 Studie von Lustria (2007)

Lustria (2007) untersucht in ihrer Studie „Can Interactivity Make a Difference? Effects of Interactivity on the Comprehension of and Attitudes Toward Online Health Content“ den Effekt, den interaktive Informationsaufbereitung auf Informationsvermittlung haben kann. In ihrer Studie beschreibt sie, dass aufgrund des Elaborationswahrscheinlichkeitsmodells der Persuasion interaktive Wissensaufbereitung zu besserem Merk- und Lerneffekt führt. Das Modell beschreibt die Annahme, dass sich der Mensch spezifisches Wissen besser merkt, wenn er aktiver in den Lernprozess involviert ist. Genauer gesagt vertritt dieses Modell die Meinung, dass Botschaften, die nicht nur beachtet, sondern auch elaboriert werden, mit größerer Wahrscheinlichkeit eine Einstellungsänderung bewirken als Botschaften, die mit weniger Aufmerksamkeit betrachtet werden. Interaktive Anwendungen im Internet erfüllen dieses Konzept. Der/die Internetnutzer/In ermittelt eigeninitiativ Informationen, was einer zielgerichteten Suche und somit von Nutzer/Innen mitgebrachten Motivation entspricht. Er lässt sich willentlich auf kognitive Anstrengung zur Informationsfindung ein, was zu einem gewissen Maß an Elaboration führt (Lustria, 2007).

Auch konstruktivistische Lerntheorien unterstützen die Annahme, dass aktive Beteiligung am Lernprozess durch den Leser ein Schlüsselement des Lernens ist. Diesbezüglich findet man in der Literatur immer wieder den Begriff Hypertextsystem. Dies sind Systeme, welche einen herkömmlichen linear strukturierten Text in netzförmige Absätze aufteilen und zufällig verteilen. Diese Systeme ahmen demnach die assoziative Natur der menschlichen Informationsverarbeitung nach. Eine Webseite stellt im erweiterten Sinne ein solches, nicht lineares Hypertextsystem dar. Dadurch sind Nutzer/Innen in der Lage, frei durch eine Wissensmenge zu browsen und die Struktur und den Inhalt des zu lernenden Materials neu zu definieren. Chinesische Autoren bringen diesbezüglich die Theorie der kognitiven Flexibilität ins Spiel, mit der sie die Fähigkeit eines Menschen beschreiben, das eigene Wissen als Reaktion auf sich verändernde Anforderungen

spontan umzustrukturieren. Sie sehen das als Funktion der Wissensrepräsentation und der diese mentalen Operationen bedingenden Prozesse (ebd.).

Hypertextsysteme erlauben dem/der Nutzer/In, sich frei durch das System zu bewegen und die Information nach eigenen mentalen Modellen zu verarbeiten. Studien haben aber gezeigt, dass es wichtig ist, die Modelle nach bestimmte Kriterien zu konzipieren, denn schlechte Modelle verringern den Lerneffekt oder führen zu Desorientierung und kognitiver Überlastung. Dem kann durch User Experience Kriterien, also durch bestimmte Richtlinien der Struktur und des Aufbaus einer Website entgegengewirkt werden. Forschungen haben gezeigt, dass es aber deutliche Unterschiede der Reaktionen der Nutzer/Innen auf die Seitenorganisation gibt. Deshalb ist es auch wichtig, die Zielgruppen zu identifizieren. Lustria (2007) sieht trotz unterschiedlicher Wahrnehmungen der Nutzer/Innen, dass sich ein Roter Faden durch die Forschung zieht:

Kognition und Elaboration, sowie aktive Beteiligung des/der Nutzers/In am Lernprozess sind wichtige Einflussgrößen auf das erwünschte Lernziel.

Sie überprüft deshalb in ihrer Arbeit die eigens aufgestellte Hypothese, dass ein höheres Maß an Interaktivität einer Website mehr Verständnis für den Inhalt einer komplexen Gesundheitswebseite zur Folge hat. Dies ist relevant, da wir wie Lustria selbst beschreibt, bei allem Potenzial des Internets noch nicht genau verstehen, wie sich Interaktivität auf den Lerneffekt auswirkt. Lustrias Hypothesen (2007) lauten wie folgt:

H1

- "Higher Levels of Interactivity will lead to a greater comprehension of the content of a health Web site"

H2

- "Higher levels of interactivity will lead to more positive attitudes towards the health Web site"

Durch die vorhergehende Literaturanalyse liest Lustria (2007) die Notwendigkeit heraus, nicht nur die Online-Kommunikation und ihre technischen Möglichkeiten zu untersuchen, sondern auch, wie verschiedene Menschen, die Information suchen, online Inhalte unterschiedlich verarbeiten. Weiter spricht sie vom Bedürfnis nach Kognition, was die aus psychologischer Sicht am besten untersuchte das Lernen betreffende Variable ist. Verschiedene Personen haben unterschiedlich starkes Kognitionsbedürfnis. Ein hohes Bedürfnis zeichnet sich dadurch aus, dass eine Person eine Situation gedanklich abwägt und sozusagen in einem Maß reflektiert und betrachtet, dass aufgrund der Situation nicht unbedingt notwendig wäre. Auch hier gibt es einen Zusammenhang, mit der Informationsgewinnung. Ein hohes Bedürfnis an Kognition führt dazu, dass auch schriftliche Mitteilungen genauer gelesen und umfassender geprüft werden, generell aktiver und stärker nach Informationen gesucht wird und sich der Wunsch sich an Webaktivitäten zu beteiligen verstärkt. Der Lerneffekt ist also auch maßgeblich vom Kognitionsbedürfnis verschiedener Personen abhängig (ebd.).

Aufgrund dieser Informationen wurde ein 2x2 faktorielles Design zur Überprüfung der Hypothesen angewandt. Die sich daraus ergebenden vier Faktoren sind ein hohes Kognitionsbedürfnis bzw. geringes Kognitionsbedürfnis, hoher Interaktivitätsgrad beziehungsweise geringer Interaktivitätsgrad. Die Studie wurde mit Student/Innen einer Universität in deren Computerlabor durchgeführt. Diese wurden zufällig zu einer der beiden Gruppen Interaktivität und Kognitionsbedürfnis zugewiesen. Die Aufgabe der Student/Innen war es, innerhalb 20 Minuten möglichst viel und wichtige Informationen zu Hautkrebs zu finden. In den anschließenden 30 Minuten sollte sie einen Fragebogen ausfüllen. Teil dieses Fragebogens waren auch Fragen zur Computerkompetenz, da diese den Lerneffekt und Informationsgewinn durch die begrenzte Zeit maßgeblich beeinflussen kann. Betreffend die Nutzerinteraktionen wurden zwei verschiedene Werte gemessen. Einerseits die durch die User/Innen erlebte Interaktion und andererseits die technische Interaktion, also wie viele Interaktionsmöglichkeiten tatsächlich von den Probanden ausgeschöpft wurden (ebd.).

Um einmal viele und einmal geringe Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung stellen zu können, wurden zwei verschiedenen Websites erstellt, welche die genau gleichen Informationen aus denselben Quellen darstellten. Auf der Webseite mit der größeren Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten wurden die Informationen in einem nicht linearen Hypertextsystem dargestellt, auf der andern in einem linearen (ebd.).

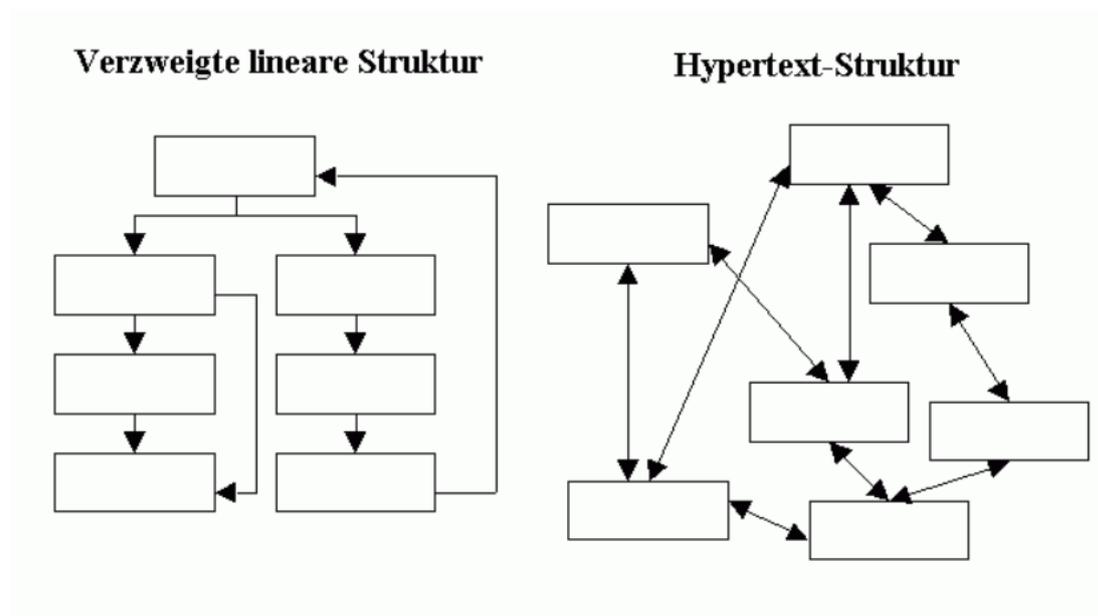


Abbildung 20: Lineare versus nicht lineare Textstruktur (aus Abplanalp, 1997, online)

Bei der technischen Interaktion wurden drei Faktoren untersucht. Die **aktive Benutzersteuerung**, **sensorische Stimulation** und **Synchronität**. Die gemessenen Interaktionswerte aus der Sicht der User/Innen wurden durch Statements wie „I felt I had a lot of control over where I wanted to go on the site,“ oder „When I clicked on links I felt I was getting instantaneous information.“ überprüft (Lustria, 2007, S.769). Zu diesen Statements konnten die Probanden ihre Zustimmung auf einer Skala von 1 bis 5 ausdrücken (5 bedeutet die höchste Zustimmung). Auf gleiche Weise wurde das Bedürfnis nach Kognition gemessen. Dafür kamen Statements wie „I would prefer complex to simple problems“, „I like to have the responsibility of handling a situation that requires a lot of thinking“ oder „Thinking is not my idea of fun.“ zum Einsatz (Lustria, 2007, S.769).

4.2.2.1 Ergebnisse der Studie von Lustria (2007)

Die Ergebnisse der Studie bestätigten die erste Annahme. Die Probanden, die die Website mit mehreren Interaktionsmöglichkeiten nutzten, hatten höhere mittlere Verstehenswerte zu den dargestellten Information, als jene, die weniger Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung hatten. Die zweite Hauptannahme, dass das Bedürfnis nach Kognition auch höhere Verständnismwerte bedingt, konnte nicht nachgewiesen werden, auch keine Korrelation zwischen hohem Kognitionsbedürfnis und dem Verlangen nach mehreren Interaktionsmöglichkeiten. Der Grund, warum die erste Annahme zutrifft, konnte also nicht in dieser Studie ermittelt werden. Trotzdem konnte die Studie wichtigen Erkenntnisgewinn

offenlegen. Sie ergab, dass eine größere Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten mit der Website eine stärkere Meinung zu den vermittelten Themen zur Folge hat (Lustria, 2007).

Abschließend ist zu sagen, dass nachgewiesen werden konnte, dass sich Interaktivität positiv auf den Lerneffekt auswirkt. Auf der anderen Seite ist zu beachten, dass zu viele Interaktionsmöglichkeiten zu kognitiver Überlastung führen können. Auch haben verschiedene Probanden verschiedene Herangehensweisen bei der Informationsfindung. Dazu ist allerdings zu sagen, dass die hiermit beschriebene Studie aus dem Jahr 2009 stammt, weshalb die Frage nach Erfahrung mit der Computernutzung noch eine zentrale Rolle im Versuchsdesign gespielt hat. Betreffend die kognitive Überlastung ist 12 Jahre später davon auszugehen, dass sich besonders die User Experience und somit Designvorschriften für Webseiten stark weiterentwickelt haben, weshalb eine kognitive Überlastung im Vergleich zu vor 12 Jahren durch die gestiegene Computernutzung und Digitalisierung vermutlich weniger ins Gewicht fällt. Dies lässt vermuten, dass mit verbessertem technischen Verständnis auch der Lerneffekt verbessert wird, da weniger Aufmerksamkeit auf das Verstehen technischer Sachverhalte gelegt werden muss und sich das Maß an kognitiver Belastung bezüglich der Bedienung einer Website verringert. Dies zu überprüfen, stellt Gegenstand weiterer Forschung dar (ebd.).

4.2.3 Studie von Kim & Stout (2010)

Ebenfalls eine Studie zum Effekt von Interaktivität auf Meinungen und Bildung im Gesundheitsbereich haben Kim & Stout im Jahr 2010 mit „The effects of interactivity on information processing and attitude change“ durchgeführt. Dabei wurde die Änderung der Kommunikation und Einstellung der Probanden im Hinblick auf die Stigmatisierung psychischer Erkrankungen untersucht. Auch die Autoren dieser Studie verweisen darauf, dass sich das Internet als hoch interaktive Anwendung positiv auf Informationsverarbeitung, den Grad der Kommunikationsbeteiligung und in diesem Fall auf die Einstellung zur Gesundheit auswirken kann. Konkret wurden häufig in der Stigmaforschung wahrgenommene Einstellungen gegenüber psychisch kranken Menschen untersucht. Die wahrgenommene Gefährlichkeit von psychisch kranken Menschen, die gewünschte Distanz zu psychisch kranken Menschen und die wahrgenommene Schwere der Krankheit (Kim & Stout, 2010).

Erweiternd zu den bereits beschriebenen Studien erläutern Eveland & Dunwoody (2001), dass es strukturelle Ähnlichkeiten bzw. "strukturelle Isomorphie" zwischen dem Internet und dem menschlichem Gedächtnis gibt. Beide bestehen aus Informationsknoten, die mit assoziativen Links verbunden sind, welche die Informationsverarbeitung erleichtern. Die Benutzer/Innen können die Art und Weise, wie sie Informationen im Gedächtnis organisieren ändern, um sich an die Struktur der Informationen im Web anzupassen (kognitive Flexibilität) (Eveland & Dunwoody, 2014).

Durch die Interaktivität wird weiter das Gefühl etwas lernen zu müssen bis zu einem gewissen Grad umgangen, da die Möglichkeit, die Lerninhalte selbst zu wählen, zu einer höheren Bereitschaft das Wissen zu verinnerlichen führt. Auch bezeichnet die Psychologie das Gefühl der Kontrolle als wünschenswerten Zustand, der mit Zufriedenheit und Vergnügen in Verbindung gebracht wird (Kim & Stout, 2010).

Die Studie von Kim & Stout (2010) untersucht folgende Hypothesen und Annahmen:

Hypothese 1

- Interaktivität wird positive Auswirkungen auf die Verarbeitung von Informationen über Menschen mit psychischen Erkrankungen haben.

Hypothese 2

- Interaktivität wirkt sich positiv auf die Beteiligung an der Kommunikation aus.

Hypothese 3

- Interaktivität hat positive Effekte auf Einstellungsdimensionen, die mit der Stigmatisierung psychischer Erkrankungen zusammenhängen [...].

Annahme 1

- Die Beteiligung an der Kommunikation wird einen signifikanten Anteil der Interaktivitätseffekte erklären [...].

Annahme 2

- Nutzer/Innen, die mehr korrekte Wahrnehmungen von Menschen mit psychischen Erkrankungen haben, zeigen eine größere Verarbeitung von Informationen über Menschen mit psychischen Erkrankungen [...].

Auch bei dieser Studie gab es einen vorhergehenden Fragebogen, der vor der Durchführung ausgefüllt wurde, um die bestehende Meinung zu Menschen mit Schizophrenie bzw. obdachlosen Menschen zu erheben und einen Fragebogen, der danach auszufüllen war, um die Änderungen der Einstellungen zu dieser Krankheit bzw. Lebenssituation bewerten zu können. Welches dieser beiden Themen von den Probanden bearbeitet wurde, war von der Webseite abhängig. Um die Auswirkungen der Interaktivität testen zu können, wurden verschiedenen Probanden mit verschiedenen großem Angebot an Interaktionsmöglichkeiten bedacht. Die Kontrollgruppe mit geringen Interaktionsmöglichkeiten befasste sich dabei mit Schizophrenie, jene mit großen Interaktionsmöglichkeiten mit den Stigmata zu obdachlosen Menschen. Schizophrenie als Krankheit wurde deshalb gewählt, weil sie relativ bekannt in der Gesellschaft ist. Auch herrscht unter der Bevölkerung im Gegensatz zu anderen Krankheiten eine ausgeglichene Meinung, welche weder stark ins Negative bzw. Positive tendiert. Als zweites Thema wurde die Bewertung von Stigmata zu Obdachlosen gewählt, weil diese genau wie schizophrene Personen eine Gruppe psychisch kranker Menschen darstellen, sich aber durch ähnliche Charakteristika wie Schizophrene Menschen auszeichnen und deshalb auch bezüglich der Stigmata ähnlich bewertet werden. Bei der Arbeit mit der Website mussten die Probanden Items bearbeiten, welche sich auf ihre Meinungen zu den Stigmata bezogen. Ein Zeitlimit gab es dabei wie in der vorher beschriebenen Studie nicht (ebd.).

Der Onlinefragebogen, welcher direkt nach dem Experiment auszufüllen war, beinhaltete nicht nur Fragen, um die Hypothesen zu beantworten, sondern auch Kontrollfragen. Zu diesen zählen etwa Fragen zum früheren Kontakt mit psychisch kranken Menschen bzw. demographische Fragen. Das Forschungsdesign bestand aus insgesamt 9 Webseiten. Auf jeder wurde ein Teil der Geschichte einer fiktiven Person namens Mary, welche nach einer normalen Kindheit Schizophrenie-Symptome entwickelte, dargestellt. Die Probanden mit weniger Interaktionsmöglichkeiten mussten eines dieser Themen wählen (etwa Symptome der Schizophrenie) und es auf jeder dieser 9 Webseiten behandeln, wobei der Inhalt für alle Probanden gleich war. Die Interaktionsmöglichkeiten wurden je nach Relevanz der Nachricht angepasst. Die Kontrollgruppe mit wenig Interaktivität konnte kein Thema wählen. Die Probanden sahen sich die 9 Webseiten in zufälliger Reihenfolge an. Im Gegensatz zur ersten Gruppe, welche die Items zur Einstellung zu den Stimuli während der Durchsicht der Webseiten beantwortete, hatten die Probanden, die sich mit Obdachlosen beschäftigten, dies schon vor dem Ansehen der jeweiligen Webseite getan.

Beide Kontrollgruppen führten diesen Prozess so lange aus, bis alle 9 Webseiten betrachtet waren (ebd.).

4.2.3.1 Ergebnisse der Studie von Kim and Stout (2010)

Die Erkenntnisse der Studie haben gezeigt, dass die Teilnehmer mit mehr Interaktionsmöglichkeiten das Gefühl hatten, mehr Kontrolle über die Webseite zu haben und diese deshalb auch ansprechender fanden. Weiter, dass die Interaktivität, die webbasierten Kommunikation anbieten kann, signifikant positive Auswirkungen auf die Verarbeitung von Informationen über psychische Erkrankungen hat. Auch sind signifikant positive Auswirkungen in den Einstellungen zu Stigmata festgestellt worden. Bei größerer Interaktivität verstanden die Probanden die Nachrichten besser, beteiligten sich mehr an der Kommunikation und konnten die vorherrschenden Stigmata vernünftiger einschätzen. Es wurde also eine geringere soziale Distanz zu schizophrenen Menschen gewünscht, diese Menschen wurden als weniger gefährlich angesehen, und die Schwere der Krankheit wurde als größer angesehen (Kim & Stout., 2010).

Kim & Stout (2010) beschreiben, dass Interaktivität großen Effekt auf den Informationsabruf und auf die Verständlichkeit der Botschaft hatte. Sie eruierten eine direkte Verbesserung der Verständlichkeit der Nachricht und eine erhöhte Beteiligung an der Kommunikation, unabhängig von der vorher vorhandenen stereotypen Wahrnehmung von Menschen mit Schizophrenie (ebd.).

Alle drei erläuterten Studien haben gezeigt, dass Interaktivität einen großen Beitrag dazu leisten kann, sich mit einem Thema tiefer auseinanderzusetzen. Aus psychologischer Sicht bedeutet die Nutzung von verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten eine vom Information Suchenden ausgehende Initiative, was zu größerem Involvement im Lernprozess führt. Alle drei Studien haben eine Änderung der Haltung der Probanden zum jeweiligen Thema zum positiven gezeigt. Die Studie von Herring et al. (2017) sogar im Zusammenhang mit Meinungen zum Klimawandel. Deshalb ist das Thema Interaktivität für diese Arbeit von großer Wichtigkeit. Bisherige Versuche die Bevölkerung zum Klimawandel zu bilden haben nur bedingt funktioniert (Herring et al. 2017; Kim & Stout, 2010).

5. User Experience

In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, was User Experience ist, wie sich der Begriff definieren lässt und welche Vorteile eine Anpassung einer Anwendung an User Experience Kriterien bringt.

5.1 Definition des Begriffs User Experience (UX)

Weil User Experience (UX) im erweiterten Sinn eigentlich ein Prozess ist, ist der Begriff in der Literatur sehr unterschiedlich definiert. Er kann sich auf UX als Marke, die Benutzer/Innen als Mittelpunkt oder die Zielerreichung einer Anwendung konzentrieren. Die verschiedenen Definitionen, die meist von Tätigkeiten handeln, die zur Verbesserung der Erfahrungen des/der Nutzers/In führen, definieren also so gesehen das UX Universum. Bei einem Prozess, der die Erfahrungen eines/einer Nutzers/In verbessern soll, gibt es den/die Nutzer/In, den/die Entwickler/In und das Produkt. Diese drei Faktoren bedingen sich in einem iterativen Prozess gegenseitig. Ein Produkt wird entwickelt, der/die Nutzer/In testet es und gibt Anregungen zur Verbesserung dieses Produkts. Diese Anregungen werden von dem/der Entwickler/In umgesetzt und das Produkt wiederum von dem/der Nutzer/In getestet. Dies geschieht so lange, bis ein zufriedenstellendes Endprodukt vorliegt (Mara, 2020).

Definitionen:

- UX ist, was ein Design- oder Entwicklerteam tut, um die Benutzung eines Produktes für den/die Nutzer/In zu verbessern.
- UX ist, was ein/eine Endanwender/In über ein Produkt denkt, fühlt und was er/sie damit assoziiert.
- Bei UX geht es darum, den Nutzern dabei zu helfen, ihre Ziele zu erreichen.

All diese Definitionen zeigen, dass es das Ziel des UX Prozesses ist, Nutzer/Innen das Ausführen von verschiedenen Aufgaben und damit die Erreichung eines gewissen Zieles möglichst einfach zu machen. Ein Beispiel wäre eine interaktive Karte. Der/die Nutzer/In wird angewiesen, aus dieser eine bestimmte Information zu gewinnen. Je mehr Verbesserungen durch den iterativen UX Prozess gemacht werden, desto leichter und schneller kann der/die Nutzer/In diese Information ablesen. Die Interaktion zwischen

Entwickler/In und Nutzer/In ist dabei unverzichtbar. Erst dadurch, dass der/die Nutzer/In verstanden wird, können die Anpassungen auf diesen/diese zugeschnitten werden. Es muss beachtet werden, dass es verschiedene Nutzergruppen als Zielgruppen gibt, was eine wichtige Rolle bei der Auswahl der UX Kriterien zum Aufbau einer Anwendung spielen kann (ebd.).



Abbildung 21: Normans Door als sinnbildliche Darstellung des Nutzens von User Experience (aus Maioli, 2018, S8).

Laut Maioli (2018) gehören besonders Einfachheit, Navigation und Anpassung an sich verändernde Faktoren zu den größten Problemen im UX Design. Ein gutes Beispiel bringt Maioli mit einem Bild zweier Türen, deren „Griffe“ sich deutlich unterscheiden. Jeder kennt das Problem, oft nicht zu wissen, ob Türen nach Innen oder Außen, also mit Ziehen oder Drücken geöffnet werden. Die folgende ursprünglich von Donald A. Norman erstellte behandelte Abbildung (21) ist ein Sinnbild für den Nutzen und die Ziele von User Experience Prozessen. Es reicht ein kleines Detail aus, um diese Unklarheit zu beseitigen und dem/der Anwender/In die Nutzung zu erleichtern (Maioli, 2018).

Im Englischen werden UX Fehler als misleading designs bezeichnet. Man findet sie überall in unserem Alltag, egal ob bei Fernbedienungen, Knöpfen, Schaltern oder Aufzügen. Genau wie im nicht virtuellen Leben, führen solche Ungenauigkeiten zu Verzögerung bei

der Zielerreichung einer Tätigkeit. In Japan hat eine Studie ergeben, dass ein großer Teil der Touristen aufgrund einer Vielzahl von verschiedenen Symbolen, die die gleiche Bedeutung haben, Probleme hat Toiletten zu finden und diese zu nutzen (ebd.).



Abbildung 22: Gegenüberstellung: gutes und schlechtes UX Design (aus W3 Labs, 2021, Online)

Je nachdem, ob akademischer oder wirtschaftlicher Kontext, unterscheidet sich das Verständnis von User Experience. Um den Inhalt dieses Verständnisses einzugrenzen, kann die bisherige Literatur verglichen werden oder UX-Designer/Innen- und Nutzer/Innen befragt werden. Die wissenschaftliche Community ist sich einig, dass UX als holistischer Ansatz namensgebend für die Erfahrung, die man mit einem interaktiven System macht, ist. Diese Erfahrung ist individuell und von Erwartungshaltungen und vorherigen Erfahrungen abhängig. Auch gibt es eine starke soziale und kulturelle Komponente der Interaktionen, welche die gemachte Erfahrung beeinflussen. So kann die technische Umgebung exakt gleichbleiben, sich aber der Kontext und damit die Erfahrung ändern. Weil die Erfahrung zur UX schon durch Meinungen oder Erfahrungsberichte im Vorfeld beeinflusst wird, gibt es auch eine zeitliche Komponente. Generell ist UX ein Konzept, dass dynamisch ist und von verschiedenen kontextuellen Faktoren abhängt. Trotz des Wissens über verschiedene, beeinflussende Variablen, ist noch nicht klar, wie diese Variablen genau das Endergebnis also die Erfahrung steuern (Lallemand et al., 2015).

5.2 Die theoretische Ebene der User Experience

Auch auf theoretischer Ebene ist das Konstrukt der User Experience ein kompliziertes. Es vereint demnach die Aktivitätstheorie, die Theorie der verteilten Kognition aber auch emotionales Design. Da die Technik als Bindeglied zwischen Nutzer/In und Aktivität, bzw. Zielerreichung liegt, ist sie keine eigenständige Entität, sondern Teil des Systems und deshalb abhängig von der Umgebung, den Benutzermerkmalen und den technologischen Werkzeugen. Das vollendete, optimal designte Produkt sollte sich also durch maximale Nutzerfreundlichkeit auszeichnen (Lallemand et al. 2015).

5.2.1 Nutzerfreundlichkeit beziehungsweise Usability

Für die aktuelle ISO Definition des Begriffs Nutzerfreundlichkeit sind viele Studien aus den 1980er Jahren hervorzuheben. Aus dem Englischen übersetzt bezieht sich Nutzerfreundlichkeit auf das Ausmaß der Zufriedenheit, Effektivität und Effizienz mit dem bestimmte Nutzer/Innen ein Ziel mittels einem Produkt erreichen können. Durch die Nutzung von Produkten und interaktiven technologischen Systemen entstehen Emotionen. Diese sind genau wie die Befriedigung verschiedener Grundbedürfnisse durch technologische Interaktionen Forschungsthemen im Bereich UX. All diese Erkenntnisse haben die Wissenschaft zu dem Schluss kommen lassen, dass User Experience das Ergebnis der Interaktion von Benutzer/Innen, System und dem jeweiligen Kontext ist (ebd.).

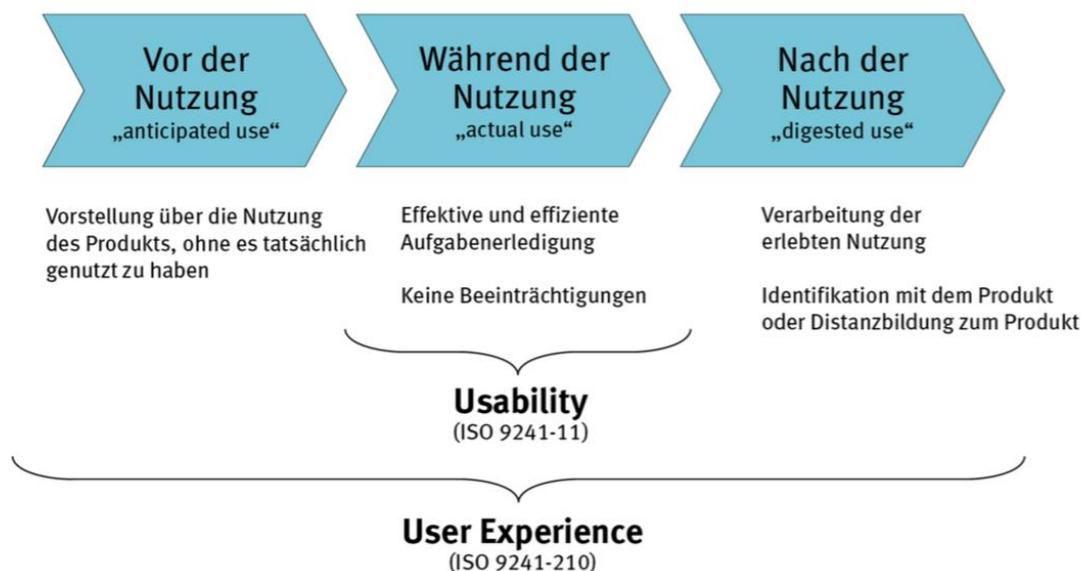


Abbildung 23: Unterscheidung von UX und Usability (aus Johner Institut, 202, Online)

5.2.2 UX und Nutzerfreundlichkeit

Der Unterschied zwischen UX und Nutzerfreundlichkeit laut Lallemand et al. (2015) ist die emotionale, subjektive und zeitliche Komponente in der Interaktion. Letzteres Konstrukt ist hauptsächlich eine objektive Betrachtung der Interaktion zwischen Mensch und Technik. Deshalb werden Aspekte der Nutzerfreundlichkeit heute oft als technischer oder instrumenteller Teil der von User Experience gesehen. UX ist demnach ein holistischer Ansatz, um Mensch-Computer Interaktion zu verstehen. Zusätzlich wird die zugrundeliegende Erfahrung des Nutzers betrachtet (Lallemand et al., 2015).

5.2.3 User Centered Design

Das schon zuvor in dieser Arbeit angesprochene User Centered Design (UCD) wird heute auch, im Gegensatz zu dem auf Abbildung 23 dargestellten, als Überbegriff für Usability, also Nutzerfreundlichkeit und User Experience verwendet. Die ISO Definition aus dem Englischen übersetzt beschreibt UCD als einen Ansatz, der das Ziel hat, interaktive Systeme so zu entwickeln, dass sie brauchbar und nützlich für den/die Anwender/In sind. Ein neuerer Begriff, Experience Design, ist am ehesten mit UCD zu vergleichen, legt aber mehr Wert darauf, wie die Erfahrungen von dem/der Nutzer/In empfunden werden (ebd.).

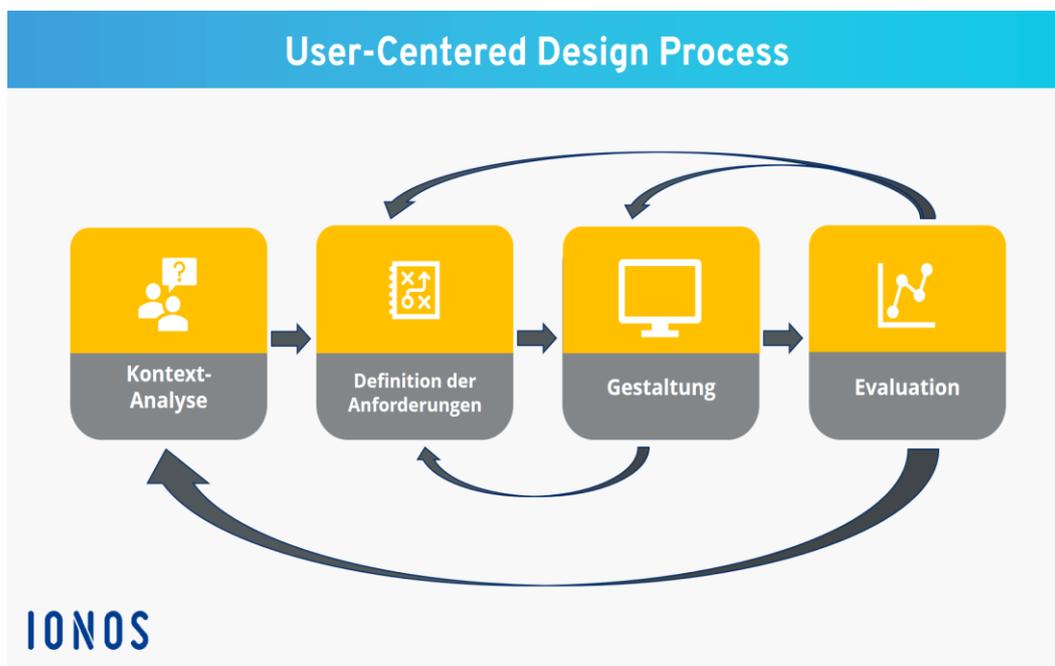


Abbildung 24: Der Prozess User Centered Design (aus IONOS, 2019, Online)

5.3 Konkretisierung des Begriffs User Experience nach Lallemand et al. (2015)

Anmerkung: Das gesamte Kapitel samt Unterkapiteln bezieht sich auf Lallemand et al. (2015)

Um den Begriff User Experience eingrenzen zu können, wurde von Lallemand et al. (2015) eine Studie mit 35 Probanden durchgeführt. Diese wurden im ersten Teil zu ihrem schulischen und beruflichen Hintergrund befragt. Also woher sie kommen, welche Ausbildung sie durchlaufen haben, welche Arbeit sie gerade ausüben und welche Rolle UX dabei spielt. Ein wichtiges Thema dazu war die Frage nach der Zusammenarbeit mit Leuten, die im UX Bereich arbeiten, um Probanden, die viel mit diesem Thema zu tun haben, jedoch nicht selbst direkt in Prozesse der UX involviert sind zu identifizieren.

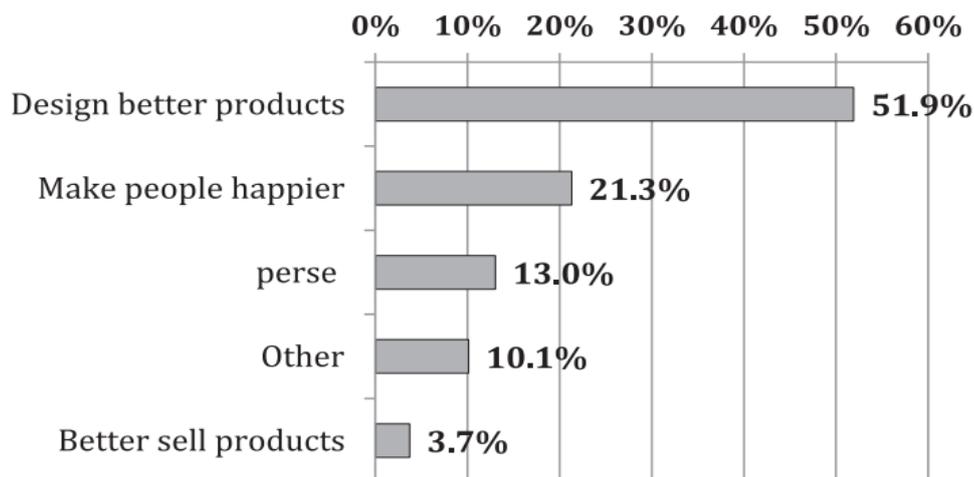


Abbildung 25: Das Interesse der Studienteilnehmer zum Thema UX (aus Lallemand et al., 2015, S.39)

Der zweite Teil konzentrierte sich auf von den Autoren erstellte Aussagen zum Thema UX, welche von den Teilnehmern auf einer 5-Punkte-Likert-Skala beantwortet werden sollten. Die Antwortmöglichkeiten reichten von „stimme überhaupt nicht zu“ bis „stimme voll zu“. Falls Probanden keinen ausreichenden Bezug zu einer Frage hatten oder eine Frage nicht verstanden, konnte „ich verstehe nicht“ als Antwort gewählt werden.

Im dritten Teil wurden 5 UX Definitionen vorgelegt und die Teilnehmer befragt, was sie von diesen halten und schließlich, welche Definition sie am besten finden. Ihre Antwort auf diese Frage konnten sie in einem freien Textfeld begründen.

Das Endergebnis waren 158 valide Fragebogen von insgesamt 998 Teilnehmern. Fast zwei Drittel arbeiteten zu diesem Zeitpunkt in der Industrie, etwa 13 Prozent waren Akademiker und der Rest verteilte sich auf andere Arbeitsfelder. Die genaue Ausbildung der Probanden setzte sich zu einem großen Teil aus Design (n=105), Psychologie oder Sozialwissenschaften (n=164), Technologie und Software (n=149) und HCI (Human-Computer-Interaction) (n=116) zusammen.

Betreffend der Bekanntheit des Konzepts UX unter den Probanden gab der Durchschnitt auf einer Skala von 0 bis 10 7.91 an. Diesen hohen Wert erklären sich die Autoren durch die beruflichen Hintergründe der Probanden. Sie gehen davon aus, dass sich die meisten Studienteilnehmer aufgrund von starkem Interesse zu diesem Thema meldeten, denn die Umfrage wurde vor allem öffentlich auf Plattformen im Internet zugänglich gemacht. Diese Annahme wurde mit einem statistischen Test gestützt, der ergab, dass das Konzept UX bei Probanden aus dem Bereich Industrie deutlich bekannter war als etwa bei Akademikern oder anderen Berufsgruppen.

5.3.1 Ergebnisse der Studie von Lallemand et al. (2015)

Statistische Auswertungen zu den Statements (vgl. Tabelle 3) Auswertungen ergaben, dass nur 7 der 23 in der Studie vorgeschlagenen Statements zum Konzept UX einen Zustimmungswert von höher als 4 auf der 5-setligen Likert Skala aufwiesen. Da das Statement ST03 die höchste Zustimmung bekam, lässt sich sagen, dass viele der Probanden der Meinung waren, dass flüchtige und stabilere Aspekte des inneren Zustands einer Person die Erfahrung einer Person mit etwas beeinflussen. Dies bedingt die hohe Zustimmung zu Statement ST13, welches postuliert, dass man UX an sich nicht designen kann, sondern eher für User Experience designet. Das soll heißen, dass durch das Design eine gewisse Erfahrung ausgelöst werden kann, diese Erfahrung aber nicht selbst designt wird.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden UCD und Usability als eng mit UX verwandte Konzepte ansahen. Die Definitionen wurden absichtlich so gewählt, dass sie bestimmte Aspekte der bekannten UX Definitionen betonen. Bestätigt wurde diese Auswahl, da aus der Industrie kommende Definitionen auch von dieser Probandengruppe den anderen Definitionen vorgezogen wurden.

	N	Min	Max	Mean	Std. Dev.
[ST03] Fleeting and more stable aspects of a person's internal state (e.g., needs, motivations) affect a person's experience of something	565	1	5	4.54	.63
[ST05] UX occurs in, and is dependent on the context in which the artefact is experienced	561	1	5	4.34	.91
[ST18] Designing (for) UX must be grounded in User-Centred Design	549	1	5	4.29	.83
[ST8] Prior exposure to an artefact shapes subsequent UX	552	1	5	4.21	.78
[ST12] Usability is a necessary precondition for good UX	560	1	5	4.15	.99
[ST14] Measuring UX implies determination of merits, values, and significance of an artefact in relation to a person's goals and needs	539	1	5	4.12	.76
[ST17] UX should be assessed while interacting with an artifact	556	1	5	4.02	.86
[ST13] We cannot design UX, but we can design for UX	531	1	5	3.96	1.08
[ST23] UX can change even after a person has stopped interacting with the artefact	545	1	5	3.96	.87
[ST1] UX is highly dynamic – it changes constantly while interacting with a product	576	1	5	3.93	1.01
[ST15] UX refers to affective states, i.e., any combination of valence (good–bad, pleasant–unpleasant) and physiological arousal (calm–excited)	534	1	5	3.89	.89
[ST02] Imagined use of a product can result in real experiences	524	1	5	3.80	1.06
[ST07] There is a definite need for a standardized definition of the term UX	568	1	5	3.71	1.07
[ST22] UX must be approached qualitatively	561	1	5	3.66	.99
[ST16] UX can be quantified and thus compared across similar (or competitive) artefacts	553	1	5	3.62	.96
[ST11] UX is based on how a person perceives the characteristics of an artefact but not on the characteristics per se	539	1	5	3.56	1.12
[ST06] UX is not about people's performance (ability to understand and use) in their relation with an artefact, but about the person's perception of that performance	564	1	5	3.47	1.22
[ST10] UX should be assessed after interacting with an artifact	550	1	5	3.44	1.19
[ST21] UX is not new, it is already covered by existing engineering approaches	552	1	5	3.14	1.11
[ST19] Only an individual person can have an experience. An experience is something personal. Something 'within' a person	560	1	5	3.14	1.23
[ST09] People will never have comparable UX – each and every interaction with a product results in a unique experience	566	1	5	3.02	1.16
[ST20] UX is equal to emotional attachment	547	1	5	2.71	1.14
[ST04] UX is best viewed in terms of marketing	561	1	5	2.38	1.13

Abbildung 26: Auflistung der 23 Aussagen zum Konzept UX und die zugehörige Zustimmung der Probanden (aus Lallemand et al., 2015, S40)

Das Gleiche galt für die anderen Gruppen. So wurden die Definitionen D1, D2, D3, D4 und D5 zu 20.1%, 31.1%, 16.6%, 7% und 25.5% als die Konzepte gewählt, die UX am besten beschreiben. Auffallend ist, dass Definition 4 als Einzige sehr wenig Zustimmung gefunden hat. Auch wenn diese branchenspezifischen Ergebnisse das Finden einer allumfassenden Definition wegen relativ ähnlicher Anteilsverteilung nicht erleichtern, so lässt sich zumindest ableiten, dass das Berufsfeld eine große Rolle bei der Definition des Konzepts UX spielt.

- | | |
|----|--|
| D1 | All aspects of the end-user's interaction with the company. Its services and its products. The first requirement for an exemplary user experience is to meet the exact needs of the customer without fuss or bother. Next comes simplicity and elegance that produce products that are a joy to own, a joy to use. True user experience goes far beyond giving customers what they say they want, or providing checklist features. [Nielsen & Norman Group, nngroup.com] |
| D2 | A consequence of a user's internal state (predispositions, expectations, needs, motivation, mood, etc.) the characteristics of the designed system (e.g. complexity, purpose, usability, functionality, etc.) and the context (or the environment) within which the interaction occurs (e.g. organizational/social setting, meaningfulness of the activity, voluntariness of use, etc.) [Hassenzahl & Tractinsky, 2006] |
| D3 | The entire set of affects that is elicited by the interaction between a user and a product including the degree to which all our senses are gratified (aesthetic experience) the meanings we attach to the product (experience of meaning) and the feelings and emotions that are elicited (emotional experience). [Desmet & Hekkert, 2007] |
| D4 | The value derived from the interaction(s) [or anticipated interaction(s)] with a product or service and the supporting cast in the context of use (e.g. time, location, and user disposition). [Sward D. & G., 2007] |
| D5 | The quality of experience a person has when interacting with a specific design. This can range from a specific artifact such as a cup toy or website up to larger integrated experiences such as a museum or an airport. [UXnet.org] |

Abbildung 27: Die 5 Definitionen von UX die den Probanden vorgeschlagen wurden (aus Lallemand et al., 2015, S37)

Im offenen Fragenteil wurden die Studienteilnehmer schließlich gefragt, was eine gute UX Definition ausmacht, bzw. worauf sie den Fokus legen muss. Die Antwort darauf lautete beim Großteil der Probanden, dass sie sich auf den/die Nutzer/In konzentrieren muss.

Eine Definition, die diesen Fokus auf den/die Nutzer/In richtig betont, wurde von den Proband/Innen mit Definition D2 identifiziert, während sie Definition D3 zu stark auf Emotionen fokussiert fanden. Weiter gaben sie an, dass sich eine Definition auf die wichtigen Komponenten von UX als auch auf das Ergebnis beziehen sollte. D3 betont letzteres, weshalb einige Probanden auch eine Mischung aus D2 und D3 vorschlugen. Viele Probanden sahen darüber hinaus keinen Bezug zum Wort Business, bzw. Wirtschaft für eine Definition von UX als notwendig an.

UX wurde umfassend als ein Zusammenspiel vieler Faktoren, also ein multidimensionales Konzept beschrieben. Am häufigsten genannt wurden systembezogene, kontextuelle, zeitliche und soziale Aspekte. Das führt wiederum zu dem Problem, dass eine Definition eigentlich leicht zu merken sein sollte und deshalb eine gewisse Länge nicht überschreiten sollte. Die Vielzahl an wichtigen Faktoren macht dies aber fast unmöglich. Definition D1 wurde deshalb als zu lange, Definition D4 als zu kurz, sich nur auf das Mindeste konzentrierend kritisiert. Weiterer Kritikpunkt der Probanden waren vage Formulierungen bzw. zu offensichtliche Formulierungen.

5.4 Problemfindungsprozess für ein Produkt

Maioli (2018) beschreibt, dass sich unter den fünf bedeutendsten Gründen, weshalb Onlinekäufe abgebrochen werden, drei auf schlechte User Experience beziehen. Firmen mit sehr guten, nach UX Kriterien designten Webseiten konnten ihren Umsatz sogar um 37 Prozent erhöhen. Was sind also typische Fehler, die beim Design einer Webseite gemacht werden und welche Kriterien sollten dabei unbedingt beachtet werden. Diese Fragen werden in den folgenden Kapiteln beantwortet.

Wenn es darum geht, zu identifizieren, welche Kriterien beim User Experience Prozess verbessert werden müssen und vor allem welche Probleme auftreten können, schlägt Maioli folgende 6 Punkte vor:

1. Stakeholder und deren Bedürfnisse identifizieren
2. Benutzerzielgruppe und deren Bedürfnisse identifizieren
3. Vergleichende Wettbewerbsanalyse durchführen
4. Die „User Journey“ verstehen lernen und somit Anknüpfungspunkte zur Verbesserung finden

5. Definieren des Projektziels und der damit verbundenen Herausforderungen und Probleme
6. Einbeziehen der bisherigen Kenntnisse zur User Experience

Zum **ersten Punkt** schreibt Maioli (2018), dass es sich immer wieder lohnt, die Stakeholder neu zu überprüfen, selbst wenn sie schon im Vorfeld identifiziert wurden, weil sich deren Sicht auf das Produkt im Laufe der Zeit ändern kann, was zu geänderten Anforderungen führen kann.

Der **zweite Punkt** bezieht sich auf die Anforderungen der Benutzer/Innen. Hat man die eigenen Anforderungen an das Produkt geklärt, geht es darum, die Bedürfnisse der Nutzer/Innen zu ermitteln und genauer zu betrachten. Dabei kommen meist viele neue Aufgaben beim Design jeden Produktes auf. Besonders langwierig kann der Prozess werden, wenn die gefundenen Schwierigkeiten Resultate von tiefer liegenden Problemen sind. Beispielweise ein Abbruch eines Onlineeinkaufs im Warenkorb, der darauf zurückzuführen ist, dass der Bezahlvorgang und der check out schwer zu finden sind (Maioli, 2018).

Da eine mehrmalige Evaluation der Nutzerbedürfnisse im Rahmen eines iterativen Prozesses viel Zeit und Kapazitäten benötigt, ist es nicht immer möglich, die Nutzergruppe nach ihren Anforderungen zu testen. Obwohl, wann immer möglich ein iterativer Verbesserungsprozess und eine heuristische Evaluation durchgeführt werden sollten, bietet letztere die Möglichkeit die Nutzeranforderungen, ohne deren direkte Befragungen zumindest teilweise zu verbessern (ebd.).

Die Heuristische Evaluation stammt ursprünglich von Jakob Nielsen und Rolf Molich. Die im Jahr 1990 entwickelte Methode hat das Ziel, Probleme von Nutzeroberflächen im Gestaltungsprozess möglichst schnell zu identifizieren (ebd.).

Im kompetitiven Designprozess eines Produktes, dem **dritten Punkt**, spielen Konkurrenten eine wichtige Rolle. Deren ähnliche Produkte können als Richtlinien zur Verbesserung des eigenen Produktes dienen. Deshalb ist es wichtig, die Konkurrenz zu kennen. Diese teilt sich in direkte Konkurrenz und indirekte Konkurrenz. Die erste Gruppe designt Produkte mit ähnlichen Funktionen und ähnlicher Nutzerbasis. Die zweite kann ebenfalls eine

ähnliche Nutzerbasis aufweisen, widmet sich ähnlichen Nutzeranforderungen, erreicht dieses Ziel jedoch durch andere Funktionalitäten (ebd.).

Wird das Verständnis zu Nutzern/Innen erhöht, ist es auch leichter, UX-Probleme zu finden. Die User Journey, **Punkt vier**, in Bezug auf das zu designende Produkt zu verstehen, spielt dabei eine wichtige Rolle. Relevante Fragen sind deshalb, woher der/die Benutzer/In kommt und was er versucht zu erreichen. Dafür wichtig sind laut Maioli (2018):

- jene Personen, die die Bedürfnisse, Ziele, Gedanken, Gefühle, Meinungen, Erwartungen und Schmerzpunkte des Benutzers repräsentieren, sozusagen die Hauptpersonen
- die Zeitleiste, eine endliche Zeitspanne oder variable Phasen
- die Emotionen der Nutzer/Innen wie Frustration, Angst, Freude, usw.
- die Berührungspunkte beziehen sich auf die Interaktionen der Nutzer/Innen mit dem Unternehmen bzw. in weiterer Folge dessen Produkt
- die Kanäle, auf denen die Interaktion stattfindet, sozusagen der Kontext

Beim **Definieren des Projektzieles** und der bis zu diesem Zeitpunkt identifizierten Probleme, geht es darum, diese Probleme zu ordnen, sie in einer Liste festzuhalten und nach Gruppen zu kategorisieren. Das wichtigste ist die Formulierung der Problemstellungen. Die dadurch gewonnene Übersicht macht es einfacher, die Konsequenzen der Probleme zu verstehen. Folgende Fragen sollten zum besseren Verständnis der Probleme beantwortet werden:

- Wieso handelt es sich bei einem bestimmten Sachverhalt um ein Problem und wie kann es begründet werden?
- Wer wird dadurch beeinträchtigt?
- Wann und wie oft tritt ein Problem auf?
- Welche Vergleichsmaßstäbe gibt es?
- Welche Veränderung hat das Lösen eines Problems zur Folge?

So ist es auch möglich, sich eine Problemstellung auszudenken, um vertrauter mit dem Konzept zu werden und ein Gefühl dafür zu bekommen, wie man Probleme bearbeitet. Dabei hilft auch das bisher erforschte Wissen zum Thema User Experience. Beim Bearbeiten, Verbessern und Lösen von Problemen, können die **bisherigen Kenntnisse** zu User Experience Abhilfe schaffen (Maioli, 2018).

5.5 Heuristische Evaluation

Obwohl der/die Ersteller/In eines Produktes nur zu einem gewissen Teil den Endnutzer/Innen repräsentieren kann, gibt es mit der heuristischen Evaluation eine Möglichkeit, das eigene Produkt zu untersuchen und grundlegende Verbesserungen vorzunehmen. Den/die Ersteller/In als Nutzer/In zu betrachten ist in diesem Fall zulässig, da es sich bei den im Rahmen der heuristischen Evaluation vorgeschlagenen Verbesserungskriterien eher um grobe Designrichtlinien handelt als um spezifische User Experience Richtlinien (Maioli, 2018).

Jakob Nielsen hat 10 Allgemeine Prinzipien für das Design interaktiver Anwendungen definiert:

1. *Der Systemstatus muss immer sichtbar sein*

Wenn der/die Nutzer/In eine Interaktion mit dem System ausführt, sollte es immer eine Reaktion dieses Systems als sofortige Rückmeldung geben. Somit weiß der/die Nutzer/In immer an welcher Stelle des Zielerreichungsprozesses im System er sich befindet.

2. *Beziehung zwischen System und realer Welt*

Das System sollte möglichst auf Begriffen aufgebaut sein, die der/die Nutzer/In kennt und versteht. Je nach Zielgruppe ist es deshalb wichtig, verschiedene Begriffe zu verwenden. Bei einer Anwendung, gedacht für die Nutzung durch die breite Masse empfiehlt sich also das Benutzen von Begriffen, welche bereits im mentalen Modell der Nutzer/Innen vorkommen und kontextualisiert sind. Dies geschieht bei Laien mehr in der realen Welt als in der virtuellen.

3. *Benutzerfreiheit- und Kontrolle*

„Verirrt“ sich der/die Nutzer/In in einem System, oder gelangt er/sie in eine unbekannte Umgebung, so ist es wichtig, dass das System immer einen Notausgang bereitstellt. Damit ist die Möglichkeit gemeint, von einem neuen, unbekanntem Punkt der Systemnutzung zurück zur Hauptseite oder zumindest zu einem bekannten Punkt des Nutzungsprozesses zurückzukehren.

4. *Konsistenz*

Worte, Sätze, Interaktionsmöglichkeiten und Symbole weisen in interaktiven Systemen eine hohe Redundanz auf. Deshalb ist es wichtig, diese Faktoren beim Auftreten gleich zu behandeln. Es sollten nie verschiedene Worte oder Symbole für die gleichen Elemente an verschiedenen Stellen des Systems benutzt werden. Die Nutzer/Innen würden dadurch verwirrt werden.

5. *Vermeidung von Fehlern*

Nielsen bringt es auf den Punkt, indem er sagt, dass ein fehlerfreies Design besser ist als die bestmöglich gestaltete Fehlermeldung. Das Einbinden eines Fensters, ist ein diesbezüglich wichtiges Kriterium. Diese gibt Rückmeldung dazu, ob eine Aktion ausgeführt wurde oder nicht.

6. *Wiedererkennen statt Erinnerung*

Mit ausführlichem Dialog mit dem/der Nutzer/In kann durch das Bereitstellen kontextabhängiger Information zu möglichst jedem Zeitpunkt verhindert werden, dass Aktionen des/der Nutzers/In kognitiv überprüft werden müssen. Die Bereitstellung von Informationen durch das System für den/die Nutzer/In nimmt ihm diese Kognitionsleistung ab, wodurch er sich besser auf die Internalisierung des Lerninhalts, die Navigation im System und die Zielerreichung konzentrieren kann.

7. *Nutzungseffizienz und Flexibilität*

Das System sollte sowohl für Laien einfach bedienbar sein als auch so konzipiert sein, dass ein/eine geschulter/e Nutzer/In nicht unterfordert oder gebremst wird. Das kann über eine Generalisierung für die/den sogenannte/n Power User/In gewährleistet werden. Beispiele für solche Generalisierungen sind Tastenkürzel

oder Webmasken, die gewisse für diese/diesen User/In unnötige Informationen ausblenden.

8. Ästhetik und minimalistisches Design

Das Design sollte sich immer auf das Notwendigste beschränken. Alle überflüssigen Elemente führen nur zu einer höheren kognitiven Belastung des/der Nutzers/In. Texte, Elemente und Symbole des Systems sollten deshalb einfach, direkt und natürlich gehalten werden und nur dann verwendet werden, wenn sie unbedingt notwendig sind.

9. Dem/der Nutzer/In helfen, Fehler zu erkennen, zu diagnostizieren und zu beheben

Tritt ein Fehler auf, bedarf es einer Fehlermeldung. Diese sollte so gestaltet werden, dass ein Lösungsvorschlag unterbreitet wird und nicht in einer Art, die den/Die Nutzer/In alarmiert und sozusagen einschüchtert.

10. Hilfe und Dokumentation

Durch ein gutes Systemdesign sollten Hilfen und Informationen weitestgehend unwichtig werden. Gleichzeitig ist es aber wichtig, dass diese Hilfen angeboten werden, einfach zu finden sind und den/die Benutzer/In im Ernstfall unterstützen können. Wichtigstes Werkzeug, ist eine Suchleiste, welche in jeder Anwendung vorhanden sein sollte.

(Maioli, 2018).

5.5.1 Heuristische Evaluation in der Praxis

Nielsen empfiehlt in Maioli (2018) die Durchführung dieser Analyse von fünf Personen deren Wissen Konzepte der Nutzerfreundlichkeit beinhaltet oder die zumindest kürzlich über diese Konzepte aufgeklärt wurden. Die Ergebnisse dieser Analyse, also die gefundenen Probleme, sollten dann nach ihrer Schwere und Relevanz geordnet werden (etwa leicht, mittel, schwer, sehr schwer usw.). Die Analyse selbst wird in drei einzelnen Phasen durchgeführt:

- In der individuellen Analyse wird das System etwa ein bis zwei Stunden betrachtet. Die dabei gefundenen Fehler, deren Ort und deren Schwere werden nach den heuristischen Kriterien bewertet und in einer Liste festgehalten. Zusätzlich liefert der Evaluierer Verbesserungsvorschläge.
- In der zweiten Phase, der Konsolidierungsphase, werden die fünf individuellen Berichte aus der individuellen Analyse gemeinsam mit dem Teamleiter betrachtet und so zusammengefasst, dass ein Endbericht mit allen Fehlern entsteht.
- Die letzte Phase ist die Abschlussbesprechung. In dieser wird beraten, welche Fehlerverbesserungen das Budget zulässt. Je nach Möglichkeit sollten allerdings alle Fehler behoben werden.

(Maioli, 2018)

Violated heuristic	Error	Local	Gravity	Solution
Error recovery	The error messages are unclear	Error messages (JavaScript)	2	Place clearer error messages
Consistency and standardization	The terms <i>save</i> and <i>record</i> are used with the same	Recording warning messages	3	Uniformize the reference of (probably using) the word <i>save</i>

Tabelle 2: Bewertung der in Phase 1 der heuristischen Evaluation gefundenen Fehler (aus Maioli, 2018, S32)

5.5.2 Fehlerkategorisierung

Die Entscheidung, welche Probleme verbessert werden sollen, kann durch die Ermittlung der Fehlerschwere in Bezug zur User Experience erfolgen. Da nicht jeder Fehler zwingend die UX eines Systems betrifft, kann bei den Fehlern differenziert werden in Fehlertypen:

- 0: entspricht nicht 100-prozentig einem UX Problem.
- 1: entspricht einem ästhetischen Problem. Aus Usability-Sicht ist dieses von minderer Relevanz und muss nicht zwingend verbessert werden, es sei denn, die Kapazitäten reichen dafür aus.

- 2: entspricht einem kleinen Usability-Problem. Es genießt daher bezüglich der Behebung auch nur geringe Relevanz.
- 3: entspricht einem größeren Usability-Problem. Die Behebung hat hohe Wichtigkeit.
- 4: entspricht einer Usability-Katastrophe. Fehler dieses Typs müssen unbedingt vor der Produktveröffentlichung behoben werden.

(Maioli, 2018)

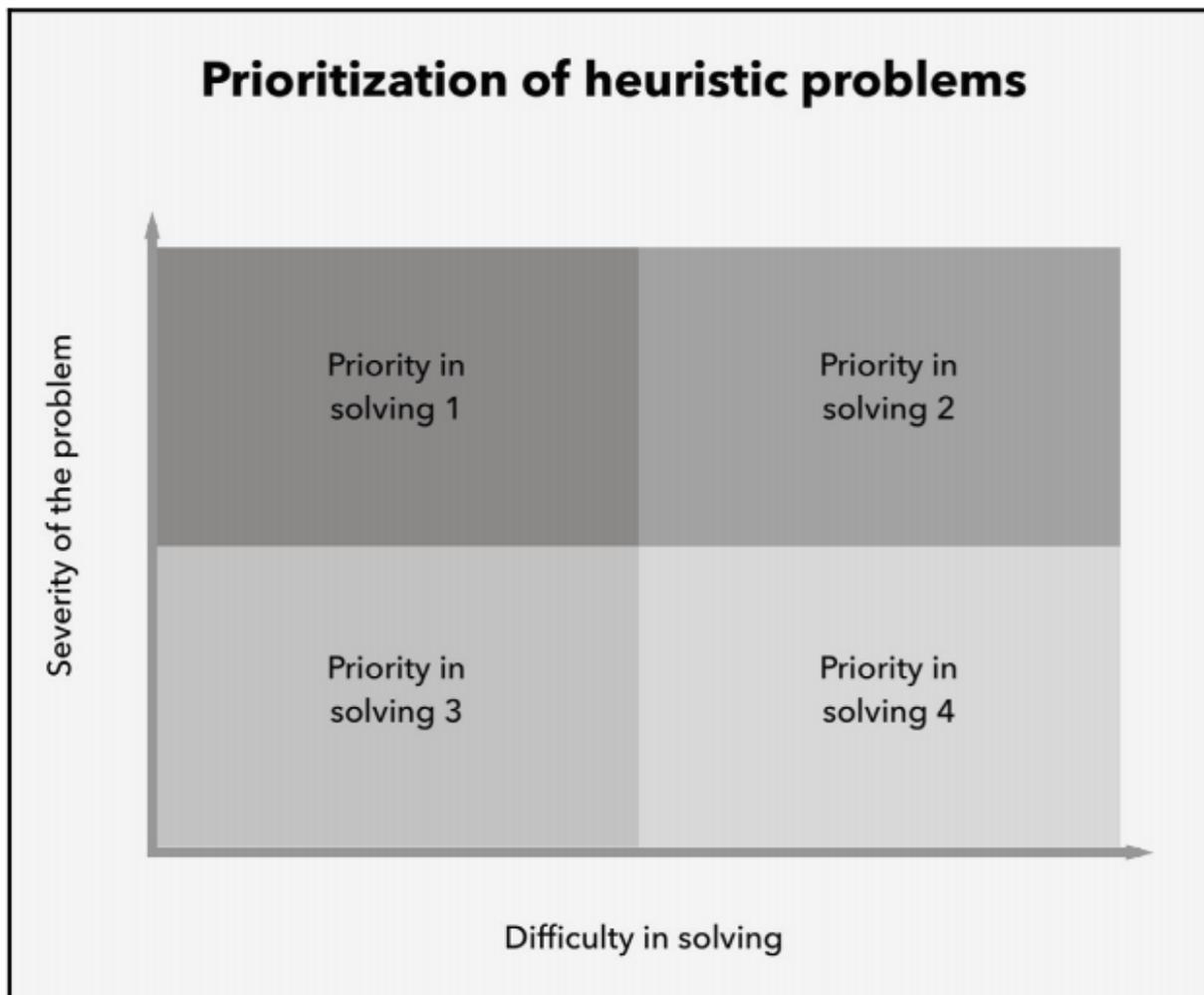


Abbildung 28: Priorisierungshilfe für Fehlertypen (aus Maioli, 2018, S31)

5.6. Studie von Nivala et al. (2008)

Nivala et al. (2008) haben in Ihrer Studie „ Usability Evaluation of Web Mapping Sites“ zu Usability Problemen von Webmaps durch die Untersuchung von Google Maps (GM), MSN Maps & Directions (MD), Map Quest (MQ) und Multimap (MM) 403 Usability Probleme

ermittelt. Die Bewertung der Seiten wurde durch acht Usability Ingenieure, acht Kartographen und acht Nutzer/Innen durchgeführt. Die Probleme bezogen sich besonders auf Suchoperationen, die Kartenvisualisierung, verschiedene Tools und die Benutzeroberfläche. Die Testteilnehmer schätzten alle ihre Kartenlesekenntnisse als sehr gut ein. Jedem der Teilnehmer wurde eine individuelle Aufgabe zugeteilt, welche er mit Hilfe einer Kartenanwendung, die er noch nicht kannte, lösen sollte. Während dieses Lösungsprozesses wurden die Nutzer/Innen aufgefordert, „laut zu denken“ um die Expert/Innen die Gründe ihres Verhaltens verstehen zu lassen. Weiter wurden sie gefilmt, um eine spätere Evaluierung der Probleme besser dokumentieren zu können (Nivala et al., 2008).

Die 16 Expert/Innen musste dieselben Aufgaben wie die acht Nutzer/Innen durchführen und dabei die Seite nach ihrem Wissen bewerten und Fehler notieren. Durch die Videoanalyse konnten im Nachhinein alle Probleme festgehalten und kategorisiert werden. Auch die von den Expert/Innen gefundenen Probleme wurden gesammelt und an die Studienverantwortlichen gesendet. Diese arbeiteten dann zusammen mit einem/einer Kartographen/In, und einem/einer Usability-Expert/In an der Bewertung des Schweregrads der Fehler (ebd.).

Endprodukt dessen, war eine Skala mit 4 Abstufungen namens „katastrophale Probleme“, „größere Probleme“, „kleinere Probleme“ und „kosmetische Probleme“. Von den 403 gefundenen Problemen wurden manche mit verschiedenen Methoden identifiziert, weshalb sich die Anzahl verschiedener Fehler auf 343 beläuft (69 in Google Maps, 83 in MSN Maps & Directions, 92 in MapQuest und 99 in Multimap) (ebd.).

5.6.1 Ergebnisse der Studie von Nivala et al. (2008)

Von den 343 bzw. 403 Usability Problemen waren bei Google Maps nur drei katastrophal, bei den Konkurrenten MD und MM 13. Auch bei größeren Problemen wies GM die geringste Anzahl auf. Eine weitere Kategorisierung der Fehler erfolgte nach Themen. So konnte sich ein Problem entweder auf die Benutzeroberfläche, die Karte, die Suchvorgänge oder den/die Benutzern/In bei einer Fehlersituation zur Verfügung gestellte Hilfe und Anleitung beziehen (Nivala et al., 2008).

5.6.1.1 Probleme der Benutzeroberfläche

Betreffend die Benutzeroberfläche bezogen sich viele Probleme auf eine Wahrnehmungsüberladung. Beispielsweise gaben die Nutzer/Innen an, im Kartenfeld irrelevante Informationen gefunden zu haben (MQ, MM). Auch wurde als störend empfunden, dass die Interaktionsbuttons oftmals über die ganze Seite verteilt waren. In einigen Fällen war das Suchfeld als zu klein und falsch positioniert angesehen (GM, MM). All diese Probleme führten laut den Nutzern/Innen dazu, dass zu viele Eindrücke entstanden (Nivala et al., 2008).

Wurden Links in der Anwendung im gleichen Browserfenster wie die Karte geöffnet (MM), ging diese leicht verloren, was als Problem angesehen wurde. In einem anderen Fall wurden Inhalte einer Anwendung als weiterführende Elemente, also als Link, missinterpretiert. Durch das Anklicken passierte dann aber nichts und es gab keine klare Rückmeldung, warum nicht (MM). Oftmals gab es auch keinen direkten Weg von einer tieferen Interaktionsebene zurück zum Hauptmenü, weshalb der zurück Button mehrmals benutzt werden musste (MD). Bei einer Web-Mapping-Seite wurden durch das Aufrufen der größeren Kartenansicht alle anderen Funktionen vom Bildschirm verdrängt. Deshalb musste der/die Nutzer/In heraus scrollen, um die anderen Elemente der Website wieder sehen und nutzen zu können (ebd.).

5.3.1.2 Probleme des Kartenfeldes

Betreffend das Kartenfeld wurde häufig angemerkt, dass dieses zu klein ist, um sich ein sinnvolles Bild der Umgebung machen zu können. Zu den im Kartenfeld selbst dargestellten Inhalten wurden von den Nutzern/Innen viele Probleme identifiziert, die sich meistens auf die Art der Darstellung und die Fülle an Inhalten bezogen. Häufig wurden Farben als nicht intuitiv empfunden. So gab es etwa in einer Karte eine in blau dargestellte Autobahn die von den Probanden als Fluss interpretiert wurde. Überhaupt wurden viele das Design betreffende Mängel identifiziert. Farbtöne konnten teilweise nur schwer unterschieden werden, und die Karten wurden häufig als überladen empfunden. Text war häufig schlecht kontrastiert, zu klein oder an ungünstigen Stellen platziert. Weitere Probleme betrafen die Zoomstufen und den dabei dargestellten Inhalt, Symbole und Links. Die Nutzer/Innen schilderten, dass manche Symbole herausstachen und sogar hinsichtlich ihrer Bedeutung unklar waren. Städtenamen beispielsweise wurden ebenfalls

teilweise als Links missinterpretiert. Bei den Zoomstufen empfanden einige Probanden eine willkürliche Darstellung der Inhalte, die dargestellt wurden, im Gegensatz zu denen die verschwanden. Die in den Karten dargestellten Informationen wurden auch häufig als inkonsistent empfunden (Nivala et al., 2008).

5.3.1.3 Probleme der Maptools

Bei den Map Tools gab es häufig Probleme, diese zu finden oder anzuwenden. Legenden waren nicht vorhanden oder wurden nur schwer gefunden. Entfernungen einzuschätzen war ein weiteres Problem, da die Nutzer/Innen entweder keinen Maßstabsbalken fanden, es diesen nicht gab oder sich dieser nicht auf das metrische System bezog. Weiter wurde der Maßstab oft nicht an Zoomstufen angepasst, was dazu führte, dass er verschwindend klein wurde. Weitere Probleme waren, dass es bei längeren Ladezeiten keine Rückmeldung vom System gab (etwa einen Ladebalken) und die Nutzer/Innen deshalb einen gewissen Zoombefehl erneut ausführten, was darin resultierte, dass sie doppelt zoomten und nicht auf die von Ihnen gewünschte Kartenebene und Ausdehnung kamen. Auch gab es nicht immer vordefinierte Zoomstufen, was manche Nutzer/Innen verwirrte, und dazu führte, dass sie sich sozusagen im Maßstab verloren und keinen Bezug mehr zu diesem wahrnehmen konnten (Nivala et al., 2008).

Bei den in der Karte dargestellten Informationen wurden auch sehr häufig fehlende Möglichkeiten zum Ein- und Ausblenden gemeldet. Auch wurde eine Anzeige der Himmelsrichtungen sowie ein einfaches Routenwerkzeug gewünscht mit Möglichkeit zur Eingabe von Start und Ziel. Gewollt wurde auch eine Möglichkeit, den aktuellen Kartenzustand zum Beispiel mittels Button speichern oder drucken zu können, beziehungsweise Marken im Kartenfeld zu setzen, um bestimmte Inhalte wieder leichter auffindig zu machen. Für die Nutzer/Innen überraschend waren außerdem zwei Sachverhalte. Durch den Klick auf die Karte, wurde das Kartenfeld neu zentriert, was aber nur selten die Intention der Nutzer/Innen war. Zweitens führte das Benutzen des Mausekzes zu Problemen: es konnte benutzt werden, um sowohl in der Karte zu zoomen als auch den im Suchfenster gezeigten Inhalt zu bewegen. Häufig wurde genau die nicht gewollte Aktion ausgelöst (ebd.).

5.3.1.4 Probleme der Suchoptionen

Betreffend die Suchoptionen gab es bei Google Maps eine Suchleiste, die alle möglichen Begriffe zur Eingabe erlaubte. Für alle anderen mussten bestimmte Vorgaben zur Suche beachtet werden, etwa musste dezidiert nach Adressen, Orten oder Postleitzahlen gesucht werden. Die diesbezügliche Freiheit bei GM wurde von vielen Nutzer/Innen als sehr angenehm empfunden, weil sie auch die natürlichste Art etwas zu finden darstellt. Auf der anderen Seite lieferten aber viele Eingaben keine Ergebnisse, was zu negativen Erlebnissen führte. Weiter unterstützten nicht alle Webkarten eine „umgekehrte Suche“, ermöglichten also nicht das Finden einer bestimmten Adresse durch das Klicken einer Position im Kartenfeld. Problematisch war auch das Zusammenspiel mit Suche und Kartenausdehnung, da sich die Nutzer/Innen nicht sicher waren, ob die Suche nur für die aktuelle Kartenausdehnung gilt. Auch gab es unterschiedliche Standards der Adressangabe, während die Reihenfolge in der Ortsname, Land und Postleitzahl angegebene werden müssen in den Suchfeldern definiert sein sollte. Darüber hinaus war in vielen Fällen eine Suche nach Orten gar nicht möglich (Nivala et al., 2008).

Probleme bereiteten auch Standardeinstellungen bei der Suche. So war in manchen Fällen ein bestimmtes Land oder ein bestimmter Kontinent voreingestellt, was die Nutzer/Innen aber nicht bemerkten oder nicht wussten, wie das geändert werden kann. So würde eine Suche nach Newcastle in England mit der Voreinstellung Australien immer das falsche und ungewünschte Ergebnis liefern. Häufig wurde das Suchfenster immer wieder unerwünscht auf die Standardeinstellungen zurückgesetzt (ebd.).

Generell stellt die Unwissenheit über die Funktionen der Suchmöglichkeiten beziehungsweise deren Ergebnisse ein Problem dar. Manche Nutzer/Innen haben versucht, in einer Suche mehrere Kriterien oder Begriffe einzugeben. Dies hat bei manchen Seiten funktioniert, bei anderen nicht. Die Suchfunktionen schienen wenig ausgereift, da sie eine Vielzahl an Ergebnissen für eindeutig definierte Suchen lieferten. So wurden teilweise viele Orte für eine Suche angezeigt, die bestimmte Buchstabenkombinationen der Suche enthielten. Dies kann sehr nützlich sein, wenn man diese Funktion benötigt, jedoch nicht, wenn man nach einem bestimmten Ort sucht (ebd.).

5.3.1.5 Probleme beim Suchen von Routen

Beim Suchen von Routen wurde festgestellt, dass Start- und Endpunkt nicht immer in der Suchleiste deutlich gemacht wurden. Auch gab es selten die Möglichkeit Start- und Zielpunkt zu tauschen. Die Nutzer/Innen wünschten sich, dass diese beiden Punkte in der Karte kenntlich gemacht werden, da meistens nur eine Linie für die Route angezeigt wird. Auch erwarteten sie sich eine größere Anzahl an Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Suche nach Geschäften entlang gewisser Routen, der Routenplanung von Start zu Ziel unter Einbezug gewisser Zwischenstopps bzw. Informationen über die Dauer der Route mit verschiedenen Transportmitteln. Straßen wurden nach der Suche teilweise mit Punktsymbolen anstatt Linien angezeigt und es konnten nicht mehrere Suchen im selben Kartenfenster durchgeführt werden, was etwa einen Vergleich von Routen erschwerte. Auch eine Druck-Funktion einer angezeigten Route wurde von vielen Nutzern/Innen gewünscht (Nivala et al., 2008).

5.3.1.6 Probleme bei Fehlermeldungen

Fehlermeldungen bei der Nutzung von Webmaps sind von großer Bedeutung, weil Fehler in Anwendungen fast nicht verhindert werden können. Etwa durch die Suche nach Informationen, welche in der Datenbank nicht vorhanden sind, können Fehler entstehen. Die zugehörigen Fehlermeldungen waren nicht immer so dargestellt, dass die Nutzer/Innen diese Nachrichten bemerkten. Wurden sie deutlich wahrgenommen, so beinhalteten sie aber häufig nur wenig hilfreiche Informationen (ebd.).

5.6.2 Abgeleitete Designrichtlinien von Nivala

Folgende Designrichtlinien wurden von Nivala identifiziert:

Interface

- Die Homepage, also Startseite, sollte so simpel wie möglich gehalten werden.

- Intuition ist wichtig. Ein/eine Nutzer/In sollte sofort die Arbeit mit der Karte beginnen können.
- Die geringe Anzahl an Anzeigen sollte so platziert sein, dass sie den/die Nutzer/In nicht irritiert.
- Informationen sollen logisch angeordnet und ähnliche Tools gruppiert werden.
- Das Suchfeld sollte eine zentrale Rolle bei der Anwendung spielen.
- Links sollten in einem neuen Tab und nicht im gleichen Browserfenster geöffnet werden.
- Es sollte bei jeder Seite eine Abkürzung zur Startseite vorhanden sein.

Fehlermeldungen

- Der/die Nutzer/In sollte Hilfe bei der Kartennutzung bekommen, so auch bei Fehlern.
- Fehlermeldungen sollten, klar formuliert, höchst informativ und unverwechselbar sein.
- Benutzer/Innen sollten immer über die aktuellen Standard-einstellungen informiert werden und darüber, wie diese geändert werden können.

Kartenfeld

- Die Karte sollte für die Eigenschaften des Bildschirmes passend visualisiert werden.

- Die Karte sollte für die Betrachtung auf dem jeweiligen Bildschirm optimiert sein.
- Die Karte sollte intuitiv und einfach zu bedienen sein. Farben sollten harmonisch sein.
- Die in jedem Kartenmaßstab dargestellten Informationen sollten genau geplant sein.
- Informationen zu Genauigkeit und Gültigkeit der Daten sollten vorhanden sein.
- Kartenwerkzeuge sollten klar erkennbar sein, um nicht verwechselt zu werden. Sie sollten aber keine anderen Karteninhalte verdecken.
- Es sollte ein Werkzeug zur Messung von Routen vorhanden sein.
- Zusätzliche Werkzeuge sollten hinzugefügt werden: Optionen, um Markierungen auf der Karte hinzuzufügen; Objekte anzuklicken, um mehr Informationen über sie zu erhalten; die Karte nach bestimmten Inhalten zu organisieren, um verschiedene Datenebenen oder Symbole auf der Karte ein- oder auszublenen (z. B. Touristenattraktionen, Hotels, Restaurants); eine einfache Möglichkeit, die Karte zu drucken und per E-Mail zu versenden.
- Die Maßstabsleiste und andere Einheiten sollten anpassbar sein.
- Die Abstufungen des Maßstabs sollten nicht zu groß sein, da der/die Nutzer/In anderenfalls den verfolgten Zielpunkt verlieren könnte.
- Anstatt Maßstabszahlen zu verwenden, sollten Begriffe wie Straßenebene, Stadtebene, Landesebene usw. verwendet werden, um für die Nutzer/Innen einen nachvollziehbareren Bezug zur Maßstabsebene möglich zu machen.

Suchfunktion

- Es sollten verschiedene Arten von Suchen möglich sein.
- Der/die Nutzer/In sollte wissen, welche Suchkriterien er verwenden muss.
- Eine Liste bisheriger Suchen sollte gespeichert werden können.
- Nutzer/Innen sollten Informationen erhalten, worauf sich eine Suche bezieht und wie sie durchgeführt wird.
- Suchergebnisse sollten auf der Karte zentriert und eindeutig und richtig (z.B. Route als Linie) dargestellt werden.
- Ergebnissymbole sollten nicht übereinanderliegen und bei gleichem Standort beide sichtbar sein.
- Der voreingestellte Kartenmaßstab sollte es durch Informationen möglich machen zu überprüfen ob die Ergebnisse einer Suche richtig sind oder nicht.
- Es wäre von Vorteil, alle möglichen Resultate einer Suche auf der Karte zu sehen, um das richtige Ergebnis auswählen zu können.
- Routen sollten nach der Suche in einem auf das Ergebnis angepassten Kartenmaßstab dargestellt werden.

(Nivala et al., 2008)

5.7 Eye Tracking als wichtiges Instrument für die UX

Cybulski & Horbiński (2020) beschreiben Interaktion in Bezug auf online Webmaps als Mensch-Karte Kommunikationssystem. Zu den Manipulationsmöglichkeiten, die für den/die User/In bereitgestellt werden, gehören verschiedenste Buttons mit bestimmten Funktionen und einem Symbol. Bei den bekanntesten Kartendiensten mit globaler Ausdehnung sind das vor Allem Suchleisten, Buttons zum Wechseln von Layern oder Buttons zur Routenplanung. In ihrer Studie „User Experience in Using Graphical User Interfaces of Web Maps“ haben Cybulski & Horbiński (2020) anhand der Online-Kartendienste Google Maps und Open Street Map untersucht, wie sich die unterschiedliche Anordnung der Interaktionsbuttons (vgl. Abbildung 29), (1) Open Street Map, (2) Google Maps, (A) Geolocation Button, (B) Search Button, (C) Routing Button, (D) Change Layer Button, (E) Zoom In Button und (F) Zoom Out Button) auf die User Experience auswirkt. Gemessen wurde das mit Hilfe der „Time to first Click“ (TC) also der Zeit, die ein Proband beim Ausführen einer Bestimmten Aufgabe braucht bis er zum ersten Mal auf den richtigen Button klickte (Cybulski & Horbinski, 2020).

Für die Durchführung der Studie gab es zwei Gruppen an Student/Innen. Beide Gruppen umfassten eine Größe von 20 Leuten mit männlichen und weiblichen Anteilen. Um die Vorerfahrungen mit Google Maps, bzw. Open Street Map zu erheben, wurde vor dem Experiment ein Fragebogen ausgefüllt, in dem evaluiert wurde, ob die Probanden die jeweilige Anwendung kennen und, wenn das der Fall ist, wie häufig die Anwendungen benutzt werden (ebd.).

Beim Experiment selbst mussten die Probanden drei Aufgaben ausführen, bei denen die TC gemessen wurde. Die erste Aufgabe bestand darin, den Geolocation Button, also jenen Button, der zur Aktuellen Position zoomt zu finden und zu drücken. Die zweite Aufgabe bezog sich auf den Search Button, mit dem die Probanden eine bestimmte Stadt finden mussten. Bei der dritten Aufgabe musste mittels dem Routing Button eine Route gefunden werden. Durch verschiedenste statistische Tests wurden dann Korrelationen betreffend die Nutzungszeit, verschiedene Anordnung der Buttons und der Vorerfahrung mit den Anwendungen untersucht (ebd.).

5.7.1 Ergebnisse der Studie von Cybulski & Horbinski (2020)

Bei der Durchführung der Aufgaben zeigte sich, dass Aufgabe 1 und 2 (siehe Kapitel 5.4) in Open Street Map schneller ausgeführt werden konnten als in Google Maps. Die erste Aufgabe deutlich schneller, die zweite etwas schneller. Die dritte Aufgabe konnte von den Google Maps Nutzern/Innen schneller ausgeführt werden (OSM/GM: A1 8.5/11.7s, A2 1.6/1.8s, A3 4.2/3.0s). Weiters gab es bei der ersten und dritten Aufgabe einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Nutzung und Bekanntheit von Google Maps und der TC zur Erfüllung der Aufgabe. Je häufiger die Teilnehmer Google Maps im Vorfeld benutzt hatten, desto schneller waren sie bei der Ausführung. Für Aufgabe zwei gab es ein gegensätzliches Ergebnis in der Open Street Map Gruppe. Je häufigere die Nutzung der Anwendung vor der Teilnahme an der Studie, desto länger brauchten die Probanden um Aufgabe 2 zu lösen (Cybulski & Horbinski, 2020).

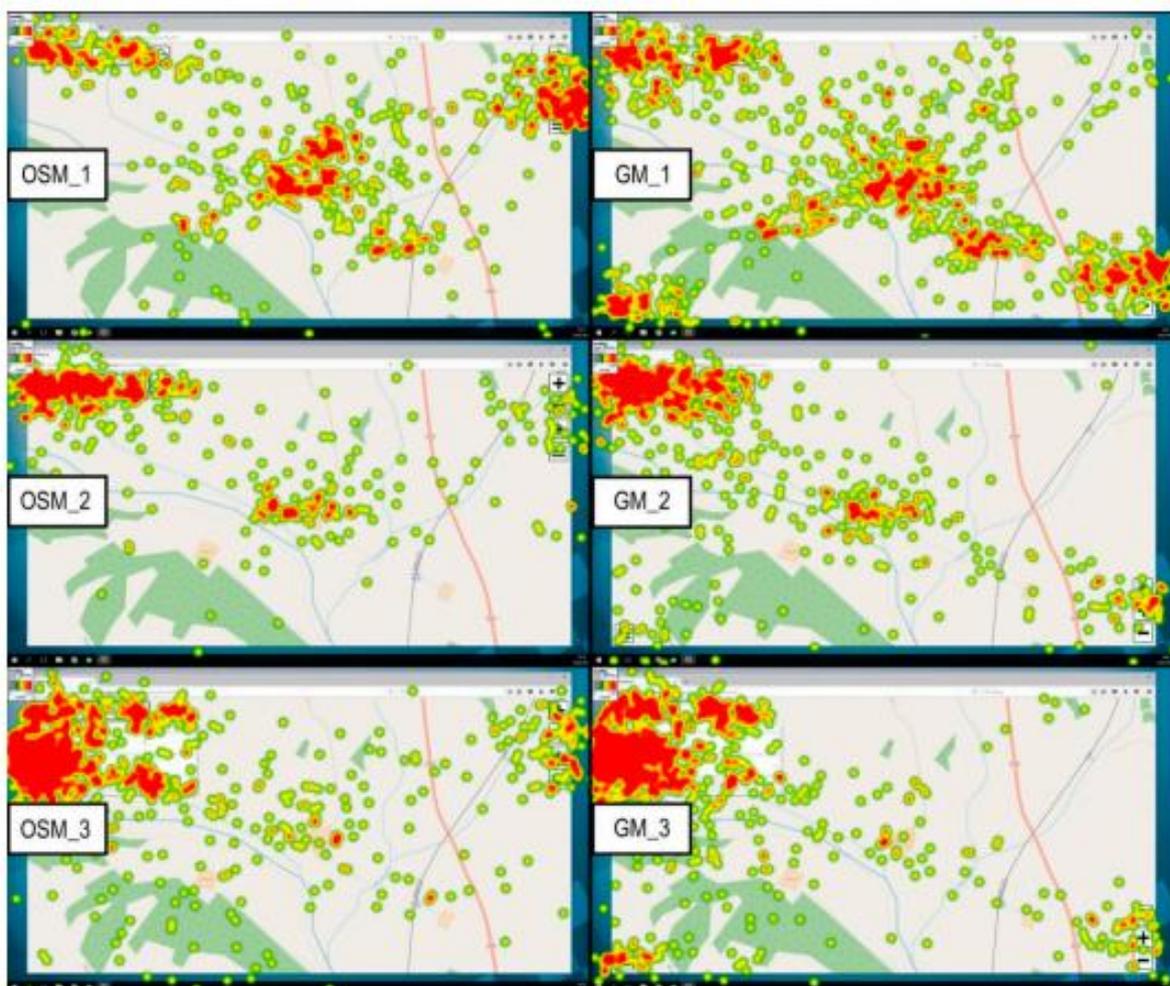


Abbildung 29: Die räumliche Anordnung der Fixationen der Blicke der Probanden (OSM links und GM rechts) (aus Cybulski & Horbiński 2020, S9).

Eine weitere Untersuchung bezog sich auf die „Number of Fixations“ die die Probanden beim Ausführen der Aufgaben aufwiesen (Abbildung 29). Dabei zeigten sich zwar unter den beiden Anwendungen keine statistisch signifikanten Unterschiede, doch haben die Google Maps Nutzer/Innen im Gegensatz zu den Nutzern/Innen der OSM drei Ecken im Vergleich zu zwei visuell nach Buttons abgesucht. Auch wenn die unterschiedliche Anzahl der abgesuchten Ecken wegen der Ähnlichkeit der Applikationen vermutlich keine besonderen Gründe hat, weisen diese Erkenntnisse darauf hin, dass die Ecken eines Bildschirms und einer Anwendung zuerst und am häufigsten abgesucht werden (Cybulski & Horbinski, 2020).

Abschließend schlagen Cybulski & Horbiński vor, aufgrund des in der Studie generierten Wissens, Buttons mit ähnlichen Funktionen in den gleichen Ecken einer Anwendung zu gruppieren. Dies entspricht auch der in Kapitel 5.2.1 vorgeschlagenen Designrichtlinie zur Konsistenz nach der heuristischen Evaluation. Wie schon gesagt hat sich die Anzahl der untersuchten Ecken unterschieden, weil die Buttons bei Google Maps auf drei verschiedene Ecken verteilt waren. Das hat sich dahingehend ausgewirkt, dass bei der GM Anwendung komplexere visuelle Profile zu beobachten waren, was die Performance der Applikation im Gegensatz zur OSM Nutzung beeinträchtigt hat. Die Autoren weisen auch darauf hin, dass einige der Ergebnisse ihrer Studie logische Schlussfolgerungen darstellten, jedoch nicht statistisch signifikant waren. Dies führen sie auf die geringe Stichprobengröße und geringe Anzahl der untersuchten Applikationen zurück. Sie gehen davon aus, dass sich diese Werte dadurch zum Gegenteil umkehren könnten, also statistisch signifikant wären (ebd.).

6. Interaktive Anwendungen zum Klimavergleich

Beispiele für interaktive Anwendungen zum Klimawandel gab und gibt es bereits. Der Fokus wurde dabei allerdings nicht auf Interfacegestaltung oder Aufklärung über den Klimawandel, sondern auf andere spezifische Ziele gelegt. In diesem Kapitel werden einige bereits existierende Klimavergleichsanwendungen beschrieben und die Frage beantwortet, wie sie sich zu der in dieser Arbeit geschaffenen Anwendung unterscheiden. Das soll Anhaltspunkte liefern, welche Kriterien bei deren Aufbau beachtet werden müssen.

6.1 Anwendung vom Austrian Institute of Technology und Joachim Ungar

Vom Austrian Institute of Technology wurde im Jahr 2010 im Rahmen einer Diplomarbeit eine Anwendung erstellt, welche einen auf Rasterzellen basierten Vergleich von Klimaverhältnissen (Veränderung von Niederschlag und Temperatur) zu verschiedenen Zeitpunkten ermöglichte. Der Begriff Climate Twins beschreibt den Vergleich der Werte zweier Rasterzelle zu verschiedenen Zeitpunkten. Zuerst wird ein Wert für eine Ausgangsrasterzelle in der Zukunft berechnet. In einem ersten Schritt wird die Veränderung der Temperatur der Rasterzelle X, für das Jahr X in der Zukunft mit +/- X Grad berechnet. Auf Basis dieser Berechnung wird es möglich eine Rasterzelle Y der Gegenwart zu identifizieren, deren Temperaturwerte den aktuellen, in der Zukunft voraus gesagten Werte der Rasterzelle X entsprechen. Es kann also das Klima in einer bereits bestehenden Region der Rasterzelle Y mit den zukünftigen Klimaverhältnissen der Rasterzelle X verglichen werden.

Climate Twins Berechnung (Anwendung Ungar)			
Datenbasis	Statistische Basis	Zeitliche Basis	Weiter Möglichkeiten
Temperaturwerte	Hellinger Koeffizient	Jahre	Gewichtung Temperatur
Niederschlagswerte	Proportional Similarity Index	Jahreszeiten	Gewichtung Niederschlag
			Thresholds

Tabelle 3: Die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten zur Climate Twin Berechnung in Ungars Anwendung (eigene Erstellung)

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, gibt es in Ungars Anwendung einige verschiedene Einstellungsmöglichkeiten, die man jeweils miteinander kombinieren kann. Dies setzt

Vorwissen dazu voraus und führt dazu, dass die Anwendung für den ungebildeten Nutzer vermutlich unverständlich und schwer zu bedienen ist.

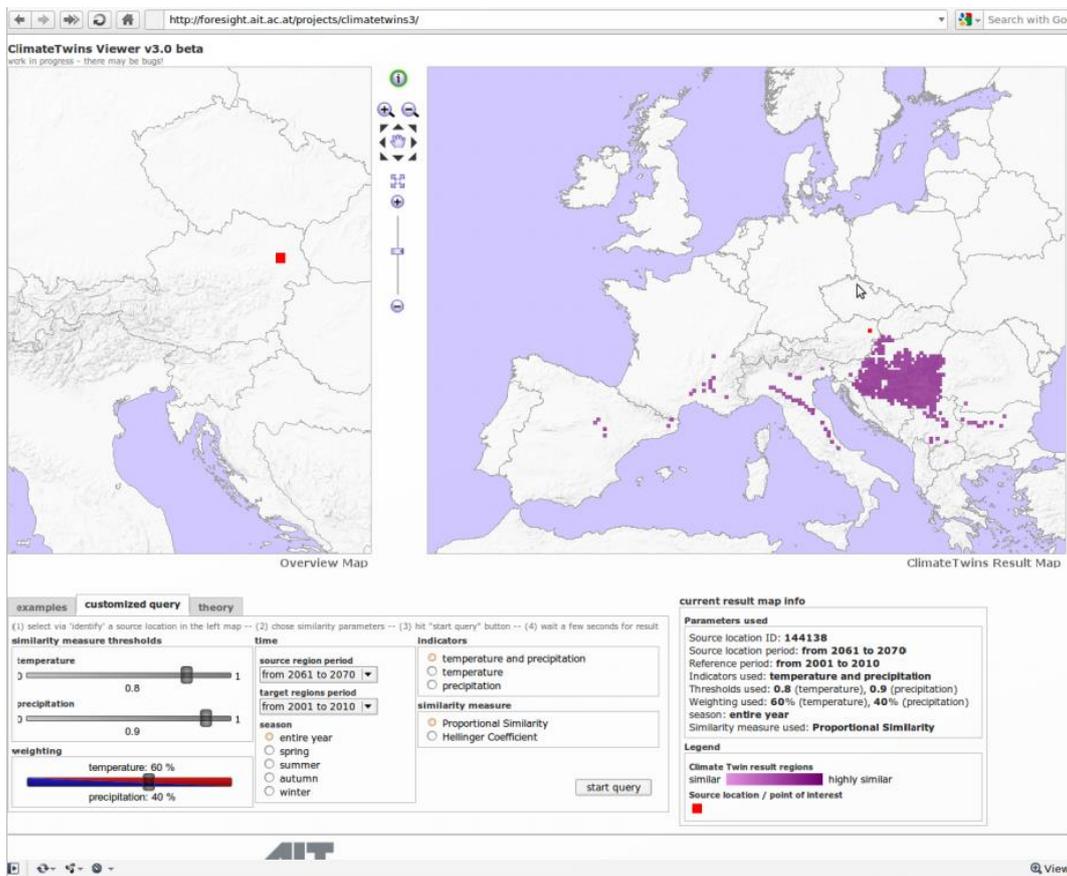


Abbildung 30: Climate Twins Applikation vom AIT (aus Ungar, 2011, S43)

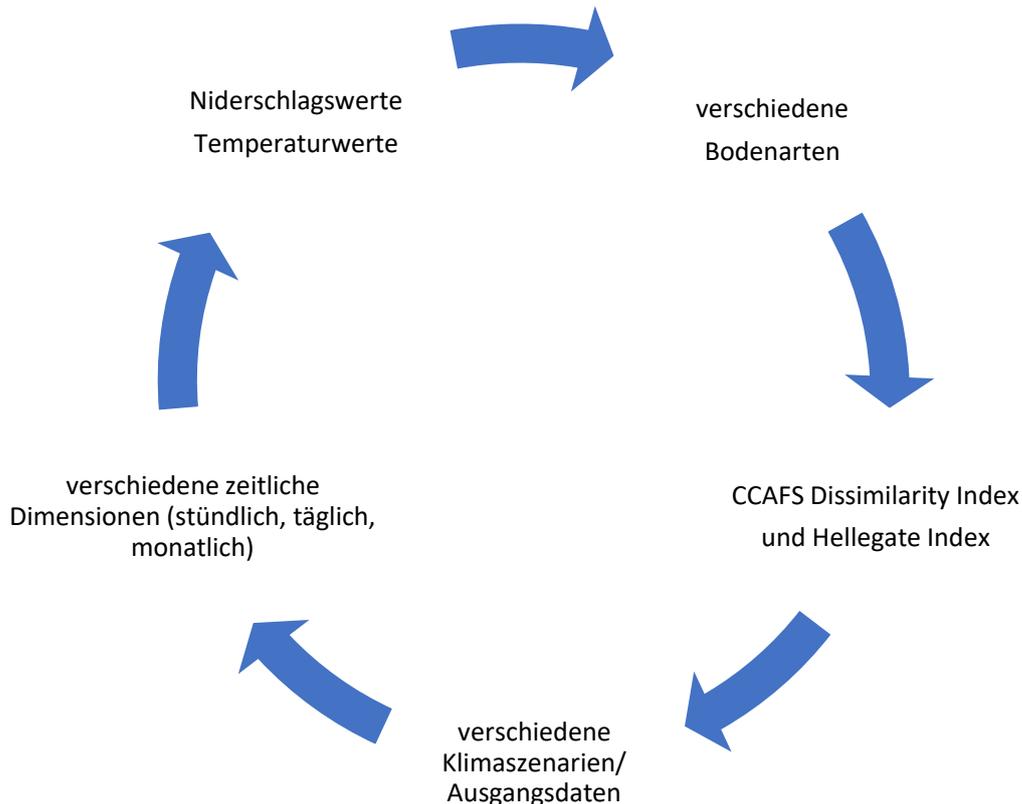
Auch an Abbildung 30 erkennt man schnell, dass die Anwendung sehr komplex aufgebaut war und wie Ungar selbst in seiner Diplomarbeit schreibt, darauf abzielte, eine geeignete Matching-Methode auszuarbeiten, um Climate Twins besser identifizieren zu können (Ungar, 2011). Obwohl das Thema der Klimavisualisierung aktueller denn je ist, hat die Version von Ungar, welche auf Flash Player Basis konstruiert wurde, keine Fortführung oder Nachfolge gefunden.

6.2 Anwendung Climate Change Agriculture and Food Security

Wie der Name schon sagt, wurde diese Anwendung von Villegas et al. (2011) mit dem Ziel entwickelt, Klimaverhältnisse von Regionen auf bestimmte landwirtschaftliche Voraussetzungen zu untersuchen (CGIAR, 2021). Dazu erlaubt die Anwendung, ähnlich wie bei Ungar, mittels CCAFS Dissimilarity Index oder Hellegatte Index Gebiete mit

gleichartigen oder gleichen klimatischen Bedingungen zu identifizieren. Im Unterschied zur Anwendung von Ungar, ist es auch möglich, verschiedene Daten und Klimaszenarien als Berechnungsgrundlage für die Climate Analoges zu wählen. Auch diese Anwendung basiert auf Niederschlags- und Temperaturwerten.

Die Einstellungen zur Berechnung der Climate Twins umfassen:



Auch diese Anwendung betreffend ist zu sagen, dass sie vermutlich nicht dazu geeignet wäre, ungebildete Anwender/Innen sinnvoll über den Klimawandel aufzuklären, da es zahlreiche Einstellungsmöglichkeiten gibt, wie etwa verschiedene Datengrundlagen in Form von unterschiedlichen Klimaszenarien. Der/die User/In müsste wissen, was Klimamodelle sind, wie sie berechnet werden, welche Ungenauigkeiten sie aufweisen oder welche Vorteile sie bringen können. Hat man dieses Vorwissen, so können sich nützliche Anwendungsmöglichkeiten ergeben. Diese sind aber für die breite Öffentlichkeit weniger relevant als für spezifische, auf diese Funktionen angewiesene Nutzer/Innen (Villegas et al., 2011).

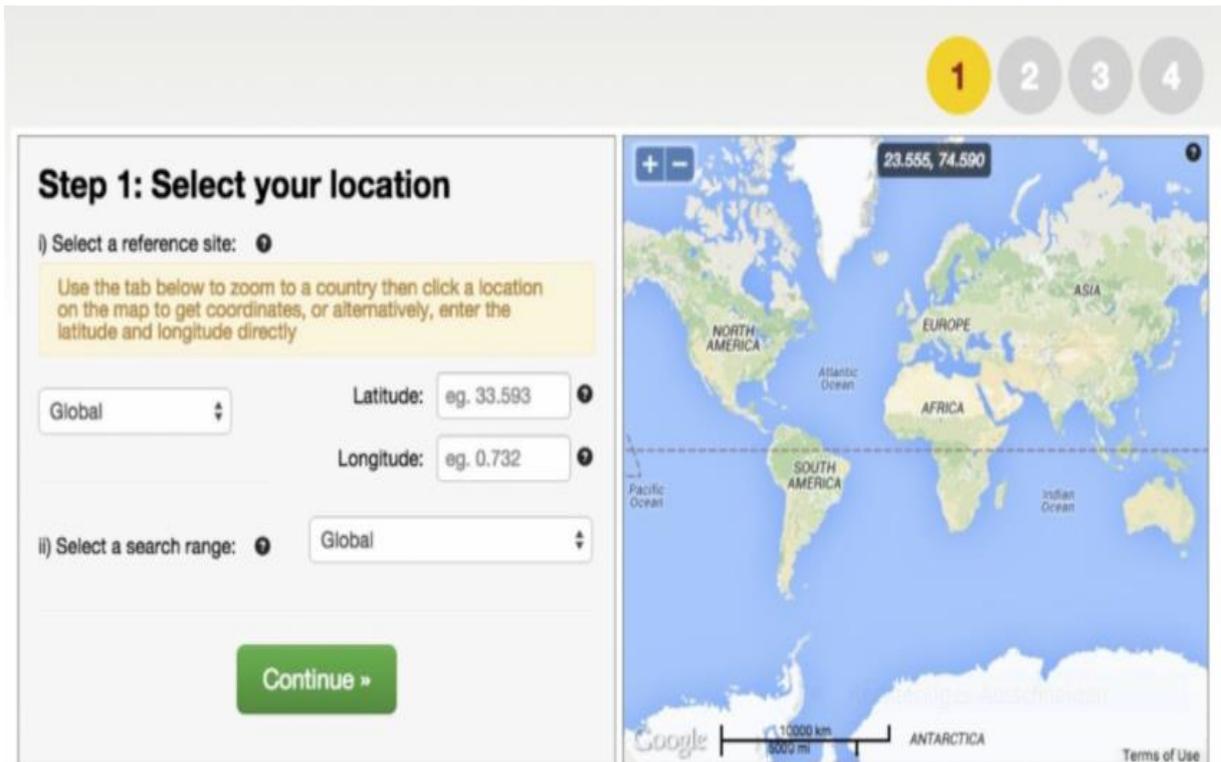


Abbildung 31: Die von Villegas et al. (2001) veröffentlichte Anwendung zum Finden von Climate Analogues (aus CGIAR, 2021)

Es existieren also schon einige solche Arbeiten zum Klimavergleich, es gibt aber aktuell keine vergleichbare, rasterzellenbasierte Anwendung, deren Fokus auf einfacher Gestaltung liegt, um den Lerneffekt zur Thematik für den/die Laiennutzer/In nicht zu schmälern. Im folgenden Kapitel werden die zwei vorgestellten Anwendungen, auf die von Nivala formulierten Designrichtlinien überprüft, um Kriterien zu identifizieren, die bei der Erstellung der eigenen Anwendung beachtet werden sollten.

6.3 Evaluation Anwendung Ungar nach den Designrichtlinien von Nivala (2008)

Da die Anwendung nicht mehr abrufbar ist, erfolgt vor Allem eine visuelle Evaluation. Weil es bei der Applikation darum geht, Climate Twins zu identifizieren, scheiden auch einige Punkte zum Kartenfeld für die Evaluation aus. Es wird also nicht auf alle von Nivala vorgeschlagenen Gesichtspunkte eingegangen. Die Kapitel 6.3 und 6.4 mit folgenden Unterkapiteln beziehen sich in der Evaluation vollständig auf die von Nivala (2008) definierten Kriterien.

6.3.1 Interface Design

Die Homepage, also Startseite sollte so simpel wie möglich gehalten werden

- Die Anwendung von Ungar lässt generell sehr viele Einstellungsmöglichkeiten zu. Darunter leidet die von Nivala (2008) vorgeschlagene anzustrebende Einfachheit der Startseite. Über Gewichtung zu Niederschlag und Temperatur bis hin zur Einstellung zu verschiedenen Kriterien, die in bei der Definition von Climate Twins definiert werden müssen, sind noch zahlreiche andere Einstellungen möglich. Das führt dazu, dass die Startseite grundsätzlich sehr viel Information zeigt und etwas überladen und kompliziert wirkt.

Intuition ist wichtig. Ein/eine Nutzer/In sollte sofort die Arbeit mit der Karte beginnen können

- Auch in Bezug auf diesen Punkt wirken die vielen Einstellungsmöglichkeiten störend, da die Arbeit mit der Karte erst begonnen werden kann, wenn der/die Nutzer/In die vielen Einstellungsmöglichkeiten durchdacht und analysiert hat.

Die geringe Anzahl an Anzeigen sollte so platziert sein, dass sie den/die Nutzer/In nicht irritiert

- Die wichtigste Einstellungsmöglichkeit ist ob nach Temperatur, Niederschlag oder beiden Faktoren kombiniert ein Climate Twin identifiziert werden soll. Da der/die Nutzer/In immer erst die Ecken einer Anwendung visuell untersucht, sich dann erst auf anders platzierte Schaltflächen konzentriert und der Mensch generell immer von links nach rechts und von oben nach unten zu lesen beginnt, sollte das Element der angesprochenen Einstellung im linken oberen Eck zu finden sein. Generell wäre also zu empfehlen die beiden Kartenelemente auf die untere Hälfte des Interface zu verschieben und die Einstellungsmöglichkeiten im oberen Bereich anzuordnen.

Informationen sollen logisch angeordnet werden und ähnliche Tools gruppiert werden

- Abgesehen von der Anordnung der verschiedenen Schaltflächen sind ähnliche Tools gruppiert worden. Zu klären wäre noch, nach welchen Kriterien eine Gruppierung am meisten Sinn macht. Nach thematischen oder visuellen Gesichtspunkten. Bei der Anwendung von Ungar wurde letztere Möglichkeit umgesetzt. Einstellungen mit Balken und Schaltflächen mit Checkboxen sind gruppiert, was als positiv herauszuheben ist.

Das Suchfeld sollte eine zentrale Rolle bei der Anwendung genießen

- Da es das Ziel der Anwendung ist, Climate Twins zu finden, kann hier auf eine Suchfunktion verzichtet werden. Eine Möglichkeit wäre, Climate Twins zu „preprocessen“ und in einer Datenbank zu speichern, sodass diese über eine Suchfunktion gefunden werden können.

Es sollte bei jeder Seite eine Abkürzung zur Startseite vorhanden sein.

- Auch der letzte Punkt erübrigt sich aufgrund des Aufbaus und der Funktion der Anwendung. Ein Kritikpunkt ist die sehr voll wirkende Startseite. Dies hat allerdings den Vorteil, dass auf die Verlinkung zu weiteren Schaltflächen und Interfaceseiten verzichtet werden kann. Gäbe es diese, müsste darauf geachtet werden, von jeder dieser Seite wieder über einen einfachen Click auf die Startseite zurückzukommen. Zu ermitteln ob eine Anwendung mit komplizierter Startseite und keinen weiteren Seiten oder eine mit einfacher Startseite und weiteren Seiten dem/der Nutzer/In mehr liegt kann Gegenstand weiterer Forschung darstellen.

6.3.2 Design des Kartenfeldes

Die Karte sollte intuitiv und einfach zu bedienen sein. Farben sollten harmonisch sein

- Für die Karte an sich gibt es nur die Standardmöglichkeiten Verschieben und Zoom. Die dafür notwendigen Buttons sind so designt, wie man sie aus beispielsweise Google Maps kennt und deshalb intuitiv. Da sich die Interaktion bei dieser Anwendung eher auf die Einstellungsmöglichkeiten zur Berechnung als auf Aktionen innerhalb des Kartenfeldes bezieht, ist zu diesem Punkt nichts weiter zu ermitteln.

Die in jedem Kartenmaßstab dargestellten Informationen sollten genau geplant sein

- Die in der Anwendung dargestellten Informationen sind in jedem Maßstab gleich, da sie nur das Ergebnis der Suche nach Zwillingsregionen darstellen und somit nur einen Layer zeigen.

Informationen zu Genauigkeit und Gültigkeit der Daten sollten vorhanden sein

- Informationen zu Genauigkeit und Gültigkeit der Daten sind nicht zu finden. Das könnte noch ergänzt werden.

Neue Werkzeuge sollten hinzugefügt werden

- Betreffend diesen Punkt ist zu sagen, dass verschiedene Layer aufgrund der Thematik nicht notwendig sind. Sie könnten aber für den/die Nutzer/In eine Orientierungshilfe darstellen. Etwa bekannte Points of Interest, Restaurants oder andere wichtige Plätze. Eine Möglichkeit die Karte zu drucken oder per E-Mail zu versenden, gibt es nicht, allerdings geht es in diesem Fall auch nicht um Navigation, weshalb die Druckfunktion vermutlich nicht zwingend notwendig ist.

6.3.3 Weitere Punkte

Weitere Punkte sind:

- Die Maßstabsleiste und andere Einheiten sollten anpassbar sein
- Die Maßstabsleiste und andere Einheiten sollten anpassbar sein
- Die Abstufungen des Maßstabs sollten nicht zu groß sein, da der/die Nutzer/In anderenfalls den verfolgten Zielpunkt verlieren könnte
- Anstatt Maßstabszahlen zu verwenden, sollten Begriffe wie Straßenebene, Stadtebene, Landesebene usw. verwendet werden

Eine Maßstabsleiste gibt es in der Anwendung von Ungar gar nicht. Dies hätte unbedingt ergänzt gehört. Weiteres sollte der Maßstab, um eine global verständliche Nutzung der Anwendung möglich zu machen, anpassbar sein. Dies gilt besonders für die Zählheiten. Jemanden aus den USA sollte es möglich sein, bei der Nutzung die Einheit von Metern oder Kilometern auf Meilen umzustellen. Auch die anderen oben aufgeführten Punkte sollten beachtet werden. Maßstabsebenen sollten mit Begriffen wie Straßen-, Stadt- oder Landeseben benannt werden, anstatt einfache Maßstabszahlen zu verwenden. Das macht die Distanzen erlebbarer und intuitiver für den/die Nutzer/In.

6.3.4 Designrichtlinien für die Suchfunktion

Wie schon erwähnt gibt es in der Anwendung von Ungar keine Suchleiste. Dies ist nicht zwingend notwendig, weil es sich um keine Onlinekarte zur Navigation handelt. Auch für diese Anwendung gibt es allerdings einige Funktionen betreffend eine Suchleiste, die

praktisch wären. Etwa könnte man die Suchergebnisse der Anwendung speichern und somit über eine Suchleiste später wieder darauf zugreifen.

6.3.5 Behandlung von Fehlern und Fehlermeldungen

Da die Anwendung nicht mehr nutzbar ist, konnte sie nach einigen Kriterien nicht untersucht werden. Dazu gehören:

- Hilfe für den Nutzer bei Kartennutzung und Fehlern
- Informationen über die aktuellen Standardeinstellungen und die Änderung dieser
- Fehlermeldungen sollten, klar formuliert, informativ und unverwechselbar sein

Trotzdem können einige Notwendigkeiten für die Anwendung formuliert werden:

Wegen des komplizierten Aufbaus wäre aber eine Infobox, die sich beim Aufrufen der Seite öffnet und die vielen verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten erklärt, sinnvoll. Ergeben sich aus der Suche Fehler, das wäre bei einer gewissen Kombination der zahlreichen Parameter durchaus denkbar, so müsste es natürlich auch hier eine Nachricht der Anwendung an den/die Nutzer/In geben, die den Fehler erklärt. Eine einfache Meldung mit der Nachricht „Fehler“ reicht also nicht. Es sollte beschrieben werden, warum der Fehler aufgetreten ist und wie man ihn beheben kann.

(Nivala, 2008)

6.4 Evaluation der Anwendung von Villegas (2008) nach Designrichtlinien von Nivala

Auch diese Anwendung ist nicht mehr aufrufbar. Es folgt deshalb nur eine Evaluation aufgrund dessen, was aus Abbildung 32 abzulesen ist. Diese kann deshalb nicht als vollständig betrachtet werden, liefert aber trotzdem näherungsweise Ergebnisse, was bei der Webanwendung gut und was weniger gut umgesetzt wurde.

Da es bei der Applikation darum geht, Climate Twins zu identifizieren, scheiden auch einige Punkte zum Kartenfeld selbst für die Evaluation aus. Diese Anwendung ist auch etwas anders aufgebaut. Die Einstellungen zum Finden von Climate Twins werden über

mehrere Seiten getroffen, sind also nicht alle auf einem einzelnen Interface zu finden. Viel mehr verteilen sie sich auf mehrere Fenster, von dem das eine nach der Einstellung zum Nächsten führt, wie Abbildung 32 andeutet.



Abbildung 32: Die Climate Analogues Anwendung von Villegas et al. (2008) (aus CGIAR 2020)

6.4.1 Interface Design

Die Homepage, also Startseite sollte so simpel wie möglich gehalten werden

- In diesem Fall ist die Homepage bzw. Startseite deutlich einfacher gehalten als bei Ungar. Auch weil weitere Einstellungen erst auf den nachfolgenden, verlinkten Seiten erfolgen. Auf der Startseite ist lediglich mittels Längen- und Breitengrad auszuwählen, auf welches Gebiet man die Suche anwenden will. Durch diese Aufteilung wirkt die Startseite übersichtlicher.

Intuition ist wichtig. Ein/eine Nutzer/In sollte sofort die Arbeit mit der Karte beginnen können

- Die Arbeit mit der Karte ist in diesem Fall, genau wie bei Ungar, sofort möglich, allerdings ohne sinnvolle Ergebnisse im Kartenbild. Die Aufteilung bei beiden Applikationen ist also so gewählt, dass zu jedem Zeitpunkt das Arbeiten mit der Karte möglich ist

6.4.2 Design des Kartenfeldes

Die Karte sollte für die Eigenschaften des Bildschirms passend visualisiert und für den jeweiligen Bildschirm optimiert sein

- Auch in diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Anwendung auf unterschiedliche Bildschirmverhältnisse zugeschnitten ist, da dies sehr einfach zu bewerkstelligen ist.

Die Karte sollte intuitiv und einfach zu bedienen sein. Farben sollten harmonisch sein

- Interaktionsmöglichkeiten beziehen sich bei dieser Applikation ebenfalls mehr auf die Eingabe zur Identifizierung von Climate Twins.

Informationen zu Genauigkeit und Gültigkeit der Daten sollten vorhanden sein

- Informationen zu Genauigkeit und Gültigkeit der Daten sind nicht zu finden. Das könnte noch ergänzt werden.

Kartenwerkzeuge sollten klar erkennbar sein, um nicht verwechselt zu werden.

- Kartenwerkzeuge sind hier nur die Zoom Buttons. Im Gegensatz zur Applikation von Ungar fehlt ein Button, der anzeigt, dass sich die Karte verschieben lässt. Dieser ist aber nicht unbedingt notwendig, da ein/eine Nutzer/In das von Webkarten gewohnt sein sollte.

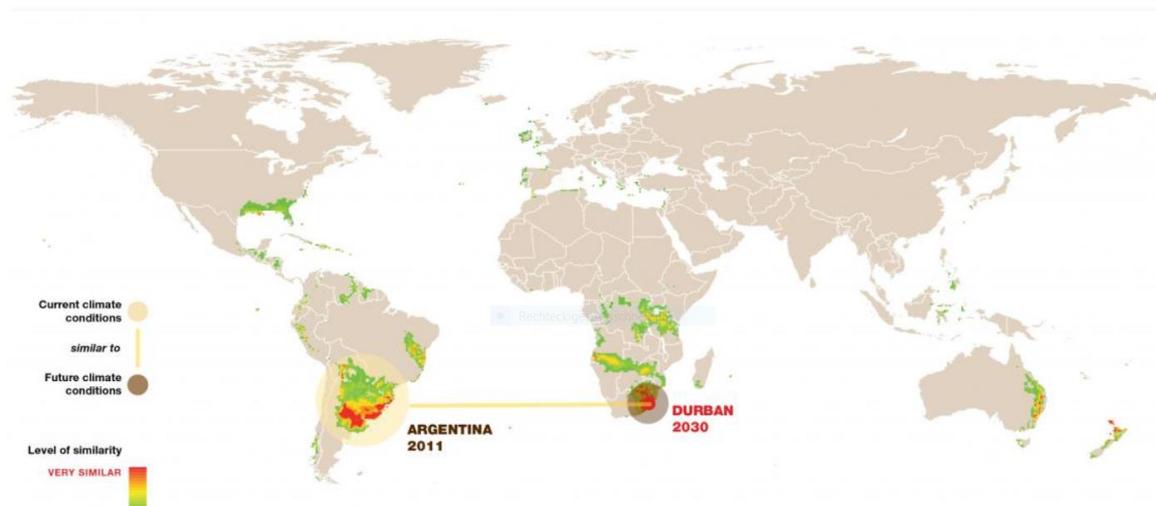


Abbildung 33: Ergebnis der Climate Analogues Suche von der Anwendung von Villegas et al. (2008) (aus CGIAR, 2020)

6.4.3 Weitere Punkte

Weitere Punkte sind:

- Die Maßstabsleiste und andere Einheiten sollten anpassbar sein
- Die Abstufungen des Maßstabs sollten nicht zu groß sein, da der/die Nutzer/In anderenfalls den verfolgten Zielpunkt verlieren könnte
- Anstatt Maßstabszahlen zu verwenden, sollten Begriffe wie Straßenebene, Stadtebene, Landesebene usw. verwendet werden

In diesem Fall ist der Maßstab in Kilometern und Meilen angegeben. Dies entspricht einer Verbesserung im Vergleich zu Ungar. Ob und wie die Maßstabebenen beschriftet sind, lässt sich nicht ermitteln, da die Anwendung nicht mehr abrufbar ist.

7. Praktischer Teil

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Arbeitsschritte zur interaktiven Anwendung geführt haben. Es geht dabei um die verwendeten Daten, deren Verarbeitung und die Software beziehungsweise Programmiersprache, die genutzt wurde.

7.1 Warum eine Interaktive Anwendung zum Klimavergleich?

Vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit evaluierten Erkenntnisse und dem Faktum, dass es aktuell keine einfach aufgebaute Applikation gibt, die Emissionsszenarien oder Klimamodelle interaktiv vergleichen lässt, wurde im Rahmen dieser Arbeit genau eine solche programmiert. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem einfachen visuellen Vergleichen von Klimadaten (verwendete Faktoren und deren Anzahl - vgl. Kapitel 7.3.1). Es soll damit ein einfaches Beispiel gegeben werden, wie eine Anwendung aussehen könnte, die zur Bildung über den Klimawandel von der breiten Öffentlichkeit verwendet werden kann und darüber hinaus einen Lerneffekt erzielt. Überprüft werden konnte das spezifisch für diese Anwendung aus Zeitgründen nicht, aufgrund der Ergebnisse der Studie von Lustria konnte aber nachgewiesen werden, dass Interaktivität zu besserem Lerneffekt führt (vgl. 4.2.2.1).

7.2 Ziele für die Anwendung

Die Website soll einen globalen, räumlichen Vergleich der Veränderung von Niederschlags- und Temperaturwerten des jetzigen Zeitpunktes mit dem Zeitpunkt 2100 erlauben. Konkret, wie sich einerseits die Temperatur und andererseits die Menge an Niederschlag bis zum Ende des 20. Jahrhunderts nach den SSP-Modellen (vgl. Kapitel 7.3.1) entwickeln. Dargestellt werden die Daten auf räumlichen Einheiten bzw. Rasterzellen von 10 mal 10 Kilometern Seitenlänge, also 100 Quadratkilometern auf der Erdoberfläche. Für jede dieser Einheiten ist die Veränderung der Temperatur und des Niederschlags anhand eines über die ganze Rasterzelle gemittelten Wertes dargestellt. Je nach Anstieg oder Rückgang der jeweiligen Werte werden die Rasterzellen verschieden eingefärbt (vgl. Kapitel 7.4.3). Warum das Rasterzellenformat gewählt wurde, ist in Kapitel 7.3.1 nachzulesen.

Die von Nivala (2008) erarbeiteten Designrichtlinien liefern bereits ein gutes Gerüst worauf bei der Umsetzung der eigenen Anwendung zu achten ist. Zusätzlich sind Schwerpunkte bei der Evaluierung bestehender Anwendungen aufgefallen. Jene von Ungar ist sehr kompliziert aufgebaut, was bei dieser Anwendung unbedingt verhindert werden soll. Grund für die Komplexität der Anwendung von Ungar sind die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten. Diese machen für geschulte Anwender/Innen, die sich mit Klimamodellen und der Thematik Klimawandel gut auskennen, Sinn, für Laien aber nicht. Meine Anwendung wird sich nur auf die zwei Faktoren Temperatur und Niederschlag beziehungsweise auf deren Veränderung mit der Zeit konzentrieren. Es werden keine komplexen Klimavergleichsalgorithmen wie bei Ungar berechnet, sondern ein visueller Vergleich von Temperatur- und Niederschlagswerten vom jetzigen Zeitpunkt und dem Jahr 2100 ermöglicht. Je stärker die jeweilige Rasterzelle farblich eingefärbt ist, desto stärker die Veränderung der Werte. Wegen diesem einfachen Aufbau reicht auch eine einzige Schaltfläche, um die gewollten Daten darzustellen. Diese Fläche ist in sechs Elementen aufgebaut. Vier Kartenfelder, und zwei Sidebars, eine mit Informationen zum dargestellten Inhalt und dem Mapsync-Button und eine mit den Legenden zu Temperatur- und Niederschlagsdaten.

Bei den beiden bestehenden Arbeiten beziehen sich die Interaktionsmöglichkeiten mehr auf Voreinstellungen zum dann dargestellten Inhalt und weniger auf das Ergebnis und spielerisches Lernen mit dem Kartenfeld. In meiner Anwendung ist der Fokus bewusst auf Interaktionsmöglichkeiten mit dem Kartenfeld selbst gelegt, da das Ziel das Internalisieren des Inhalts ist, welches durch zahlreiche Einstellungsmöglichkeiten nicht geschmälert werden soll. Deshalb kann zwischen den Layern zu Temperatur und Niederschlag direkt im Kartenfeld umgeschaltet werden. Zusätzlich gibt es die Mapsync Funktion, die es möglich macht, alle vier Karten, die vier verschiedene Emissionsszenarien darstellen, gleichzeitig zu verschieben.

Im Rahmen dieser Arbeit wird nicht geprüft, wie gut sich der/die Anwender/In durch diesen speziell designten Aufbau den Inhalt merkt und ob die Anwendung Wissen besser vermittelt als die von Ungar oder Villegas. Die Literatur, die für diese Arbeit herangezogen wurde, lässt dies allerdings vermuten. Das in Bezug auf diese Anwendung zu überprüfen, kann Gegenstand weiterer Forschung darstellen. Ziel dieser Arbeit ist es, unter der Annahme, dass diese These zutrifft, eine so einfach wie möglich aufgebaute Klimavergleichsanwendung zu programmieren.

In folgender Grafik sind Ziele und Nicht-Ziele gegenübergestellt. Bei Nicht-Zielen muss, wie der Name schon sagt, darauf geachtet werden, dass diese nicht umgesetzt werden. Das bereitet oft Schwierigkeiten, da diese in meinem Fall eng mit den Zielen verbunden sind, um dazu führen können, dass das eigentliche Ziel der Arbeit aus den Augen verloren wird. Nicht-Ziele helfen also dabei, die eigentlichen Ziele von ungewollten Zielen besser abzugrenzen zu können.

In dieser Arbeit beschäftige ich mich mit UX Kriterien, um meine Anwendung so einfach wie möglich zu gestalten. Diese stellen ein gutes Beispiel für Ziele und Nicht-Ziele dar. Mein Anspruch wäre natürlich, so viele UX Kriterien wie möglich bei der Umsetzung meiner Anwendung einzubeziehen, um eine perfekte Anwendung zu erstellen, dafür reicht aber die Zeit nicht. Deshalb kann als Ziel formuliert werden, die wichtigsten UX Kriterien zu beachten, als Nicht-Ziel jedoch eine nach UX Wissen perfekt designte Anwendung zu kreieren.

Ziele	Nicht-Ziele
<ul style="list-style-type: none"> • Eine Webanwendung zum interaktiven Klimavergleich erstellen - Als Vorschlag wie eine solche Anwendung aussehen könnte. • Möglichst einfacher Aufbau der Anwendung (Interface und Einstellungsmöglichkeiten) (anhand von UX Kriterien) • Möglichst einfach verständliche Datenquelle als Basis verwenden • Meinung bzw. Bewusstsein zum Klimawandel durch Mensch-Computer Interaktionsmöglichkeiten stärken 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine nach User Experience Kriterien perfekte Anwendung zu erstellen (Wichtig sind UX-Kriterien, die die Anwendung einfach halten) • Komplexe Einstellungsmöglichkeiten für die zugrundeliegenden Klimadaten anbieten • Eine Vielzahl an Klimafaktoren für die Darstellung der Klimaveränderung in der Zukunft verwenden • Tiefgehendes Wissen zur Problematik Klimawandel vermitteln

7.3 Wahl der Datengrundlage und der technischen Hilfsmittel

Um das, was in den vorhergehenden Kapiteln erarbeitet wurde, bei einer eigenen Anwendung umsetzen zu können, mussten im Vorhinein Überlegungen zur Anwendung angestellt werden.

Dazu gehörten vor Allem Fragen zur technischen Umsetzung, also zur Datengrundlage, der Programmiersprache und der Software zur Datenaufarbeitung.

Dieses Kapitel beschreibt in kurzer Form, auf Basis welcher Überlegungen die Datengrundlage, ein GIS System beziehungsweise eine Programmiersprache zur Umsetzung des Projekts ausgewählt wurden.

7.3.1 Wahl der Datengrundlage

Es gibt heute bereits viele Klimamodelle und Modellensembles, die sich häufig mit den Klimavariablen des Niederschlags und der Temperatur und deren Veränderung beschäftigen, oft auch mit weiteren Variablen. Das Problem, das sich bei meiner Auswahl eines solchen Modells ergab, bezog sich deshalb auf die Datenqualität und die freie Zugänglichkeit der Daten, weniger darauf, ob Daten verfügbar sein würden. Auch sehr wichtig war mir die Einfachheit der Daten bezüglich gewählter Klimafaktoren und deren Anzahl, um die Anwendung für den ungeschulten Nutzer angemessen zu gestalten. Die Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag wurden also gewählt, da sie jedem Menschen aus dem Alltag bekannt sind. Die SSP Modelle vom IPCC, die als Modellensemble eine ausreichende Genauigkeit versprechen und mit verschiedenen Zeitdimensionen die Klimavariablen Niederschlag und Temperatur zur Verfügung stellen, wurden schließlich von mir als passende Datengrundlage identifiziert. Die Veränderung der beiden Variablen Temperatur und Niederschlag ist mit dem zugrundeliegenden Modell des Treibhausgasausstoßes einfach verständlich und bezieht sich damit auch auf ein weithin bekanntes Modell zur Erklärung der Klimaerwärmung.

Grundlage der Anwendung sind also die unter dem Reiter Future climate data auf worldclim.org beziehbaren Daten (worldclim.org, 2021, Online). In diesem Fall wurde eine räumliche Auflösung von 5 Minuten gewählt, um ausreichende Auflösung bei gleichzeitig guter Performance zu gewährleisten. Die den Daten zugrunde liegenden Modelle

entstammen dem CMIP 6 Projekt, das vom IPCC durchgeführt wird. Es handelt sich dabei um ein sogenanntes Modellensemble. Ensembles sind Berechnungen aus einer Vielzahl von Klimamodellen durch deren Kombination Fehlerwahrscheinlichkeiten einzelner Modelle verringert oder ausgebessert werden und neue genauere Modelle entstehen können. Die aus über 100 verschiedenen Modellen berechneten CMIP6 Daten, die für diese Arbeit verwendet wurden, sind die Modelle ssp126, ssp245, ssp370 und ssp585. SSP steht dabei für Shared Socioeconomic Pathways. Diese Shared Socioeconomic Pathways sind vier zusammengehörende Modelle zu Emissionsszenarien verschieden starker Ausprägung (vgl. Kapitel 2.6 Emissionsszenarien) (worldclim.org, 2021, Online).

7.3.2 Wahl des GIS Systems

Die heute gängige Methode Werte von Klimamodellen auf der Erdoberfläche darzustellen, ist mittels Rasterzellen. In jeder Zelle ist, je nach Zeitpunkt ein Wert zur betreffenden Klimavariablen gespeichert. Deshalb entstand die Notwendigkeit, ein GIS System zur Datenaufbereitung zu nutzen. Rasterbilder zu bearbeiten, wird besonders in der Fernerkundung auch häufig mittels Python bewerkstelligt, die Bearbeitung solcher Bilder in einem unter anderem eigens dafür geschaffenen GIS System stellte aber die für mich einfachere Vorgehensweise dar.

Eine weitere Frage, die sich mir stellte, ebenfalls aufgrund der Einfachheit der Umsetzung meiner Anwendung, war, ob man auch mittels GIS System eine Webkarte mit der Funktionalität der von mir geplanten, interaktiven Features erstellen kann.

Dazu ist zu sagen, dass GIS Systeme heutzutage schon sehr ausgereift sind. Besonders QGIS stellt auch zahlreiche Möglichkeiten zur Datendarstellung zur Verfügung, da es diese Open Source Software jedem Anwender möglich macht, mittels Python eigene Plugins zu programmieren. Demnach gibt es in QGIS auch ein Plugin, das erlaubt, eine erstellte Karte ins Web zu übertragen. Auch wegen der integrierten Python Konsole, die es beispielsweise möglich macht, Rasterzellen mit gleichen Werten zu „highlighten“ war dies mein erster Ansatz zur Umsetzung des Projektes. Es stellte sich aber schnell heraus, dass die damit nutzbaren Möglichkeiten (v. A. bezüglich interaktiven Anwendungsmöglichkeiten) sehr begrenzt sind.

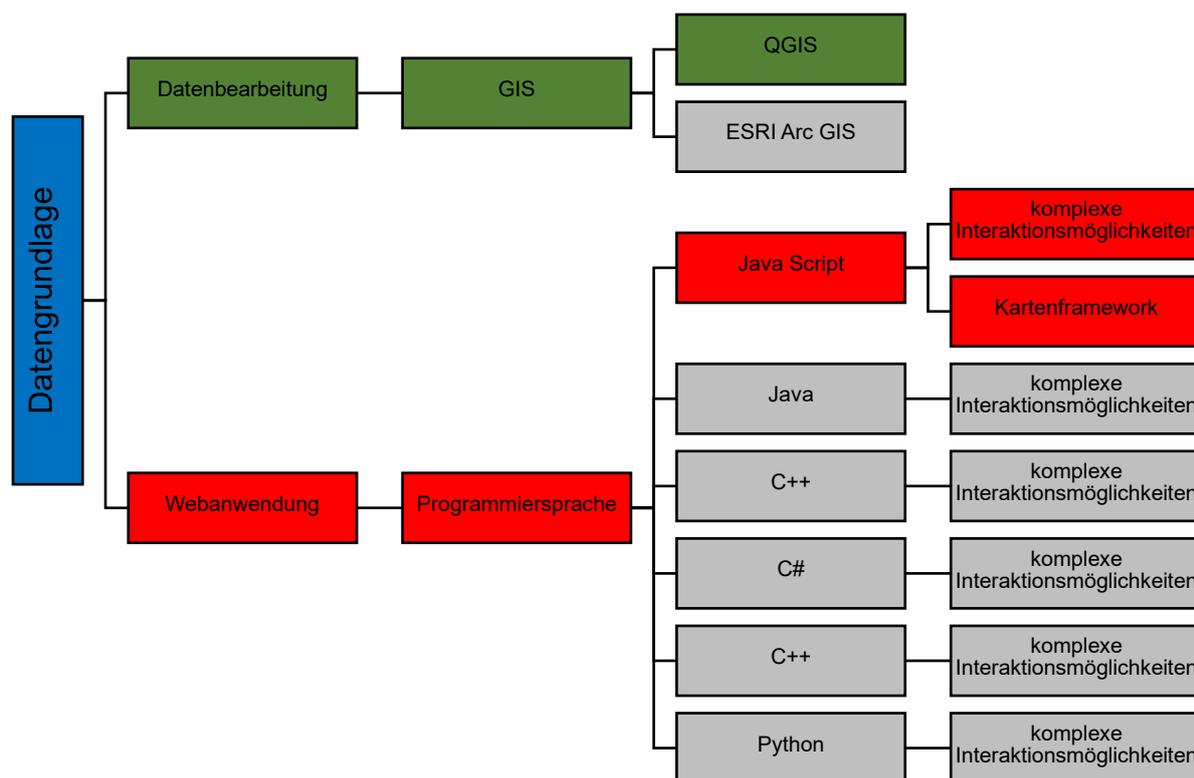
Auch im ESRI Arc GIS gibt es Möglichkeiten, Webkarten zu erstellen. Obwohl diese vermutlich umfangreicher als im QGIS sind, eignete sich diese Software nicht zur Umsetzung der Webanwendung, weil dabei nur auf bestimmte, von ESRI zur Verfügung gestellte Features zurückgegriffen werden kann. Außerdem ist die angesprochene Software nicht frei zugänglich. Als Student an der Universität Wien hatte ich zwar die Möglichkeit eine Lizenz kostengünstig zu erwerben, jedoch wurde QGIS im Rahmen des Studiums wenig behandelt. Deshalb erschien es mir sinnvoll, die in einem GIS notwendigen Datenbearbeitungsschritte in QGIS durchzuführen, um neue Erkenntnisse über eine Open Source Software zu erlangen.

Diese Erkenntnisse zeigten mir, dass ich bei der Datenaufbereitung auf ein GIS System zurück greifen kann, jedoch nicht beim Entwickeln oder Implementieren interaktiver Features. Mir wurde also schnell klar, dass ich zu deren Umsetzung auf eine Programmiersprache zurückgreifen muss.

7.3.3 Wahl der Programmiersprache

Heute gibt es eine Vielzahl von Programmiersprachen, die es erlauben, Webanwendungen umzusetzen. Die wohl bekannteste ist Java Script in Verbindung mit HTML und CSS. Wie gesagt lassen aber auch Java, C++, C# und sogar Python, das eher als Sprache zur Datenanalyse gilt das Erstellen einer Webanwendung zu. In meiner Recherche bin ich aber schnell auf ein Java Script Framework namens leaflet.js gestoßen, dass genau für die Kartenerstellung und Bearbeitung entwickelt wurde. Deshalb entschied ich mich letztlich dazu, diese Programmiersprache für meine Anwendung zu nutzen. Der große Vorteil besteht darin, dass darin bereits verschiedene Funktionalitäten in Verbindung mit Webkarten existieren und man sich durch deren Implementierung viele Zeilen Code ersparen kann.

Die auf der nächsten Seite folgende Grafik zeigt, welche technischen Möglichkeiten zur Datenaufbereitung und Erstellung der Anwendung zur Verfügung standen und welche Wahl schließlich getroffen wurde (in grün, bzw. rot eingefärbten Pfade).



7.4 Datenaufbereitung in QGIS

Wie schon gesagt, wurden die Daten von Worldclime.org zur weiteren Bearbeitung bezogen. Neben Klimadaten zur Vergangenheit gibt es die Future Climate Data, zu denen auch die „bioclimatic variables“ - Rasterbilder gehören, die für diese Anwendung verwendet wurden. Diese sind im Rohformat mit 19 Kanälen ausgestattet, von denen jeder einzelne Werte zu verschiedenen Thematiken enthält. Für diese Anwendung wurden die Kanäle 1 (Annual Mean Temperature) und 12 (Annual Precipitation) verwendet.

In diesem Kapitel wird zuerst beschrieben, wie die Rasterbilder aufbereitet werden mussten, um die einzelnen Rasterkanäle zu isolieren und so zu berechnen, dass die Ergebniswerte für die gesamte Periode 2021-2100 vorliegen. Dadurch wird es möglich, den Wertebereich von Temperatur bzw. Niederschlagsdaten zu ermitteln und somit eine Klassifizierung zu erstellen. Diese sowie die Farbwahl für die Klassen wird darauffolgend beschrieben. Die zuvor beschriebene Zeitperiode wurde vor Allem gewählt, da es mir darum ging, die prognostizierte Veränderung von Temperatur und Niederschlag in der Zukunft darzustellen. Deshalb beginnt die Zeitlinie der verwendeten Daten im Jahr 2021. Weiter ist anzumerken, dass die verwendete Datengrundlage keine Aufzeichnungen über die Veränderung der gewählten Klimafaktoren von der Vergangenheit bis zum heutigen

Zeitpunkt beinhaltet. Eine weitere Datenquelle für diese Periode einzubeziehen wäre möglich gewesen, von mir aber bewusst vermieden, da dies einen großen Mehraufwand bedeutet hätte und für meine Idee nicht notwendig war. Um das Bewusstsein zum Klimawandel zu stärken, eignen sich Prognosen über die Zukunft ausgezeichnet, da diese eine starke annuelle Veränderung der Faktoren voraussagen.

7.4.1 Isolierung der Rasterkanäle und Zusammenfassung der Zeitperioden

Auf Abbildung 34 ist zu sehen, aus welchen verschiedenen Klimamodellen das Ensemble der SSP Daten entstanden ist. Weiter wird beschrieben, dass die Daten in vier Perioden über jeweils 20 Jahre vorliegen:

1. Zeitperiode 2021-2040
2. Zeitperiode 2041-2060
3. Zeitperiode 2011-2080
4. Zeitperiode 2081-2100

Die Daten müssen also, um diese vier Rasterbilder zu vereinen und die Werte für die gesamte Zeitperiode von 2021 bis 2100 darstellen zu können, bearbeitet werden.

Future climate data

The data available here are [CMIP6](#) downscaled future climate projections. The [downscaling](#) and calibration (bias correction) was done with WorldClim v2.1 as baseline climate.

Monthly values of minimum temperature, maximum temperature, and precipitation were processed for nine global climate models (GCMs): BCC-CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L, MIROC6, MRI-ESM2-0, and for four [Shared Socio-economic Pathways](#) (SSPs): 126, 245, 370 and 585.

The monthly values were averages over 20 year periods (2021-2040, 241-2060, 2061-2080, 2081-2100). The following spatial resolutions are available (expressed as minutes of a degree of longitude and latitude): [10 minutes](#), [5 minutes](#), [2.5 minutes](#).

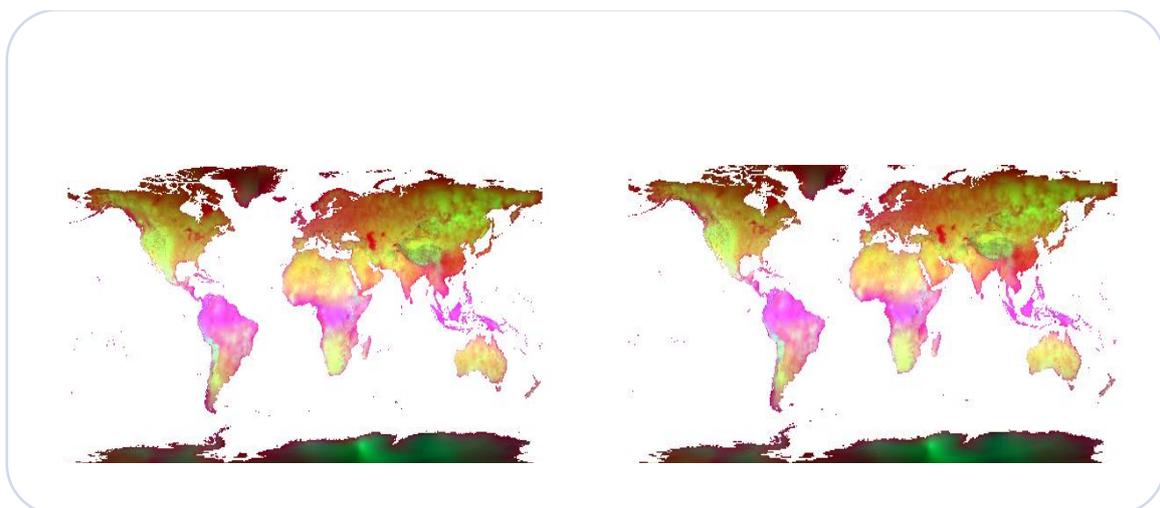
Data at 30-seconds spatial resolution is expected to be available by the end of March, 2020.

CMIP6 [terms of use and citation information](#).

The now obsolete downscaled CMIP5 data is still available [here](#).

Abbildung 34: Die Auswahl an beziehbaren "Future Climate Data" in verschiedenen Auflösungen (aus [worldclime.org](#): 2021: Online)

Für die Perioden liegt für jede Rasterzelle einen Wert des betreffenden Kanals zum Ende der Periode vor (dieser entsteht wiederum durch die Mittelung der Durchschnittstemperatur eines jeden Monats über die 20 Jahre). Die Daten der Periode 2021-2040 liefern also einen „ist“-Wert, der z.B. in Kanal 1 (Annual Mean Temperatur) die aktuelle, prognostizierte Durchschnittstemperatur des Jahres 2040, gemittelt über die Monate angibt (z.B. 22C°). Ist dieser Wert in den Daten der Periode 2041 bis 2060 gestiegen (beträgt z.B. 25C°) so ergibt die Differenz der beiden Werte die Veränderung der Temperatur vom Zeitpunkt 2041 bis 2060. In dieser Zeitspanne hätte sich die Temperatur dieser Rasterzelle also um 3C° erhöht. Um die Veränderung der Werte (Temperatur und Niederschlag) vom heutigen Zeitpunkt zum Zeitpunkt des Jahres 2100 zu erhalten, mussten die Ergebniswerte der Temperatur bzw. des Niederschlags der Periode 2021-2040 jeder Rasterzelle von denen der Periode 2081-2100 für jedes der vier SSP Modelle abgezogen werden, um die Differenz zu erhalten. Dies wird in folgender Grafik für einen Rasterkanal eines Modells illustriert:



Rasterbild Modell: SSP 126
 Zeitperiode: 2081-2100)
 Kanal1: Annual Mean
 Temperature

Rasterbild Modell: SSP 126
 Zeitperiode: 2021-2040)
 Kanal1: Annual Mean
 Temperature

Subtraktion (Raster Calculator Tool in QGIS)

Dieser Prozess musste also achtfach durchgeführt werden um als Ergebnis acht Rasterbilder mit jeweils einem Kanal mit den richtigen Werten zu erhalten:

- I. SSP 126
 - a. Rasterbild 1 mit den Veränderungswerten der Temperatur
 - b. Rasterbild 2 mit den Veränderungswerten des Niederschlages
- II. SSP 245
 - a. Rasterbild 3 mit den Veränderungswerten der Temperatur
 - b. Rasterbild 4 mit den Veränderungswerten des Niederschlages
- III. SSP 370
 - a. Rasterbild 5 mit den Veränderungswerten der Temperatur
 - b. Rasterbild 6 mit den Veränderungswerten des Niederschlages
- IV. SSP 585
 - a. Rasterbild 7 mit den Veränderungswerten der Temperatur
 - b. Rasterbild 8 mit den Veränderungswerten des Niederschlages

Diese 8 Rasterbilder konnten nun als aufgearbeitete Datengrundlage zur Bestimmung der jeweiligen Wertebereiche für Temperatur und Niederschlag verwendet werden. Berechnet wurden die einzelnen Kanäle mittels Raster Calculator Tool.

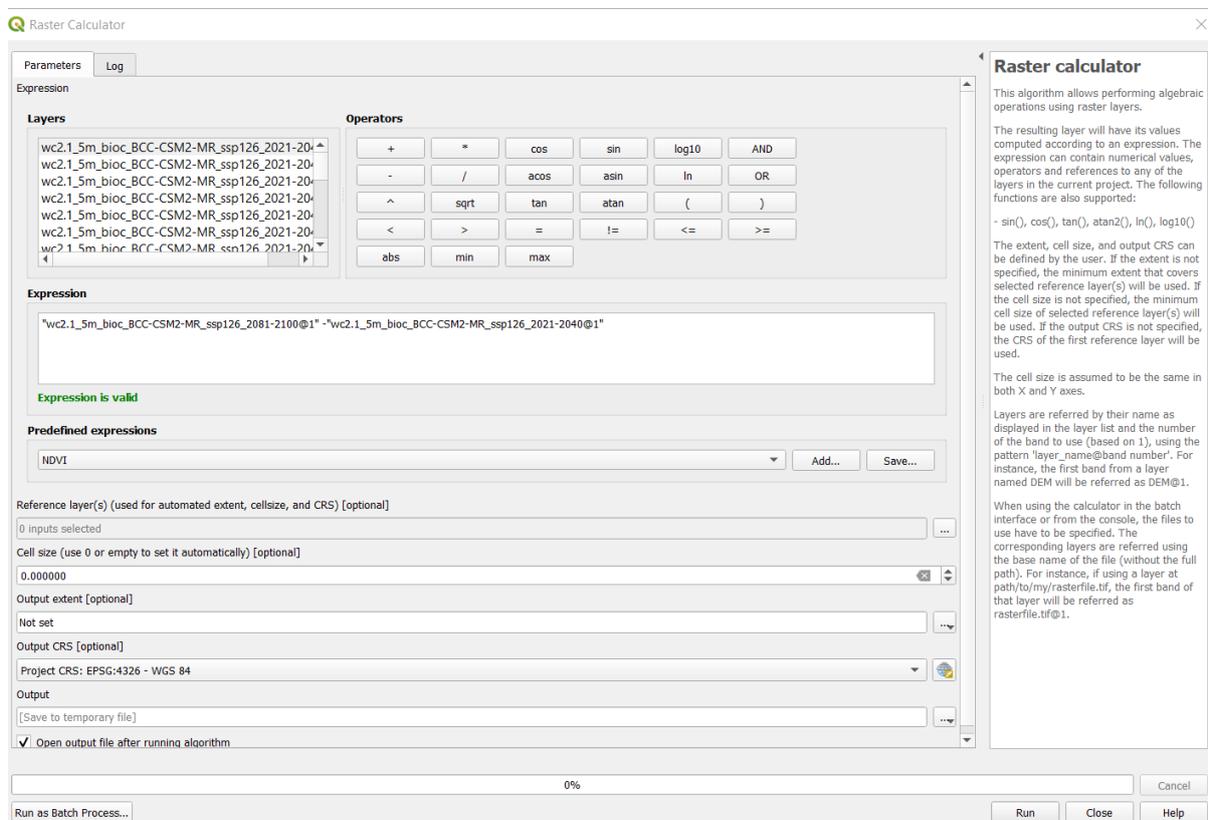


Abbildung 35: Die Subtraktion der Rasterkanäle 1 bzw. 12 wurde mittels Raster Calculator Tool in QGIS durchgeführt.

7.4.2 Ermittlung der Wertebereiche

Um die erarbeiteten Daten der Rasterbilder sinnvoll nach der Veränderung der jeweiligen Werte visuell unterscheiden zu können, musste eine Klassifizierung erstellt werden. Die verschiedenen Wertebereiche der Rasterzellen werden zu Klassen zusammengefasst, da es nicht möglich ist, jede einzelne Klasse mit einer eigenen Farbe darzustellen. Das ist dadurch bedingt, dass das menschliche Auge nur eine geringe Anzahl an Farbabstufungen einer Farbe erkennen kann. Darüber hinaus würde es auch nur wenig Sinn machen hunderte Klassen darzustellen.

Zur Ermittlung der Klassen mussten die Minima bzw. Maxima der zwei Datenebenen Temperatur und Niederschlag von allen vier Modellen unter den Layer Properties unter Symbology beziehungsweise aus den Histogrammen ermittelt werden (Abbildung 36). Es ergaben sich Werte von ca. -4°C bis $+8^{\circ}\text{C}$. Um alle vier Modelle vergleichen zu können, musste also eine Klassifikation für diesen Wertebereich erstellt werden. Zusätzlich musste die Werteverteilung beachtet werden.

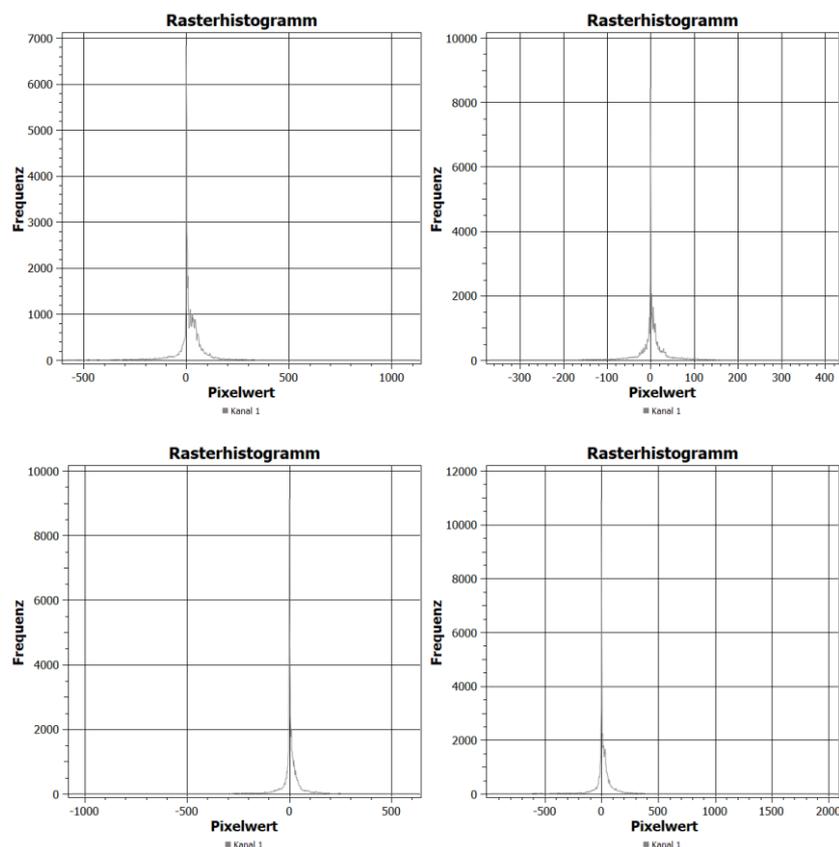


Abbildung 36: Histogramme der Niederschlagswerte der vier Emissionsmodelle (v.l.o. nsch r.u.126, 245, 370, 585)

Die Histogramme zur Entwicklung der Niederschlagswerte zeigen untereinander alle ein ähnliches Bild. Ein Großteil der Werte liegt im Bereich von -100 bis +100 Millimetern Veränderung. Die Bereiche außerhalb dieses Gebiets sind vergleichsweise wenig frequentiert. Deshalb ist es in diesem Fall wichtig, die Farbabstufung stark auf diesen Bereich zu konzentrieren, also starke Blau- und Rottöne schon bei +100 Millimetern, bzw. -100 Millimetern Niederschlagsveränderung anzuzeigen.

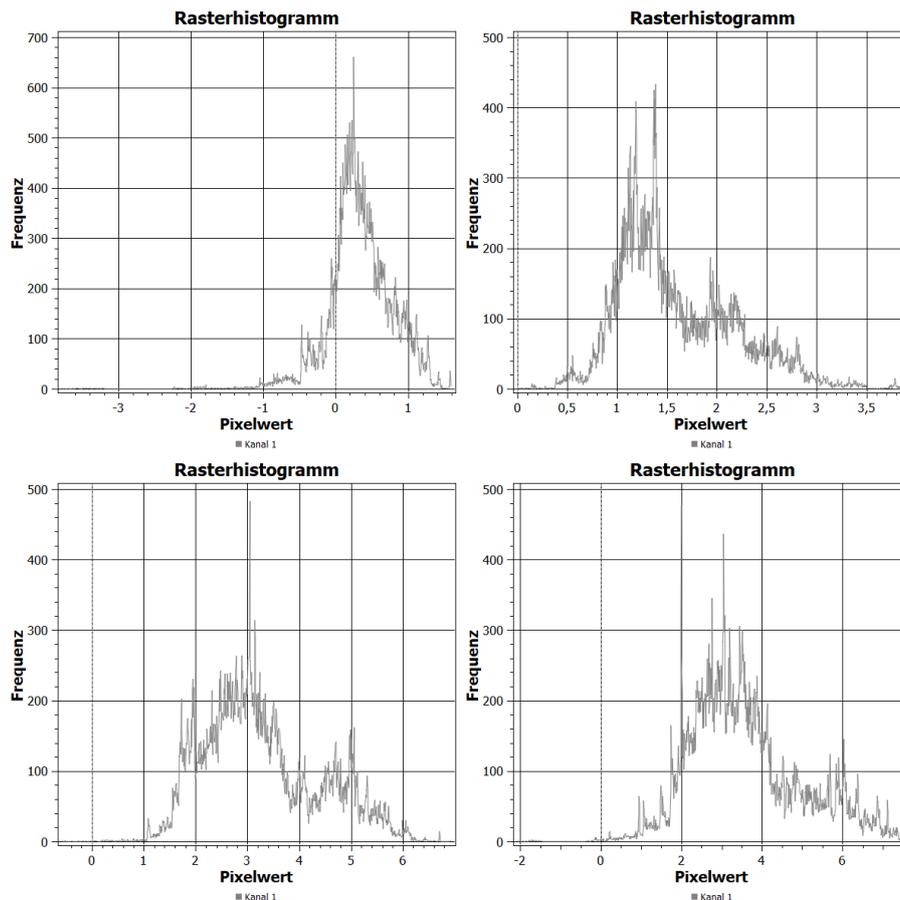


Abbildung 37: Histogramme der Temperaturwerte der vier Emissionsmodelle (v.l.o. nach r.u.126, 245, 370, 585)

Das obenstehende Histogramm des Modells ssp126 zeigt im Gegensatz zu den anderen Modellen als einziges auch eine größere Anzahl an negativen Werten. Es würde also nur beim Zutreffen der Prognosen dieses Modelles in einigen mehreren Gebieten der Erde kälter werden (es zeigen alle Modelle Werte in den negativen Zahlenbereich, jedoch handelt es sich dabei meistens um Ausreißer - diese Werte sind also kaum frequentiert). Die Werte der anderen Modelle verteilen sich fast ausschließlich auf den positiven Wertebereich. Die Peaks des Histogramms, also häufigsten Werte, liegen bei Modell

ssp245 im Bereich zwischen $+1\text{C}^\circ$ und $+1,5\text{C}^\circ$, bei Modell ssp370 zwischen $+2\text{C}^\circ$ und $+4\text{C}^\circ$ und bei Modell ssp585 zwischen $+2\text{C}^\circ$ und $+4\text{C}^\circ$.

Die Histogramme zur Entwicklung der Niederschlagswerte zeigen untereinander alle ein ähnliches Bild. Ein Großteil der Werte liegt im Bereich von -100 bis +100 Millimetern Veränderung. Die Bereiche außerhalb dieses Gebiets sind vergleichsweise wenig frequentiert. Deshalb ist es in diesem Fall wichtig, die Farbabstufung stark auf diesen Bereich zu konzentrieren, also starke Blau- und Rottöne schon bei +100 Millimetern, bzw. -100 Millimetern Niederschlagsveränderung anzuzeigen.

Temperatur in C°				
	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
Wertebereich	-3.78 bis +1.6	0.00 bis +3.91	-0.58 bis +6.93	-2.07 bis +7.61
häufigster Wert	+ 0.2	+1.2	+3.2	+2.6
Wertebereich insgesamt	-4 bis +8			
Niederschlag in mm				
	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
Wertebereich	-368.75 bis +423.5	-1063 bis +625.5	-589.25 bis +1124.5	-981.25 bis +2046
häufigster Wert	0	0	0	0
Wertebereich insgesamt	-981.25 bis 2046			

Tabelle 4: Wertevergleich der Histogramme der für die Anwendung verwendeten Temperatur- und Niederschlagswerte (eigene Erstellung)

7.4.3 Erstellung der Klassifizierung und Farbwahl

Durch die Ermittlung der jeweiligen Wertebereiche ist es möglich, jeweils für Temperatur und Niederschlag eine Farbabstufung in drei Farben zu erstellen. Somit kann ein Rückgang der Temperatur, je nach Ausmaß in Blautönen dargestellt werden, eine Erwärmung in Rottönen. Gleiches gilt für die Niederschlagswerte. Diese werden jedoch bei einer Erhöhung in Blautönen dargestellt, bei einem Rückgang in Rottönen. Ändern sich die Werte nur gering oder bleiben gleich, so werden Gelb- bzw. Beigetöne zur Darstellung verwendet.

Eine gegensätzliche Darstellung der Werteveränderung von Niederschlag und Temperatur ist sicherlich nicht optimal, jedoch aufgrund assoziativer Farbgebung verlangt.

Es ist also nur eine gewisse Anzahl an Werten darstellbar, weil das menschliche Auge nur wenige Farbtöne der gleichen Farbe unterscheiden kann. Es kommt erschwerend hinzu, dass sich die Farbtöne auch so unterscheiden sollten, dass sie bei den Rasterzellen visuell

gut voneinander getrennt werden können, was maßgeblich durch die Größe des verwendeten Bildschirmes beeinflusst wird.

Wichtig ist also, nicht zu viele Abstufungen in die Klassifizierung einfließen zu lassen. Deshalb ergibt sich die auf Abbildung 38 zu sehende 24-teilige Klassifizierung.

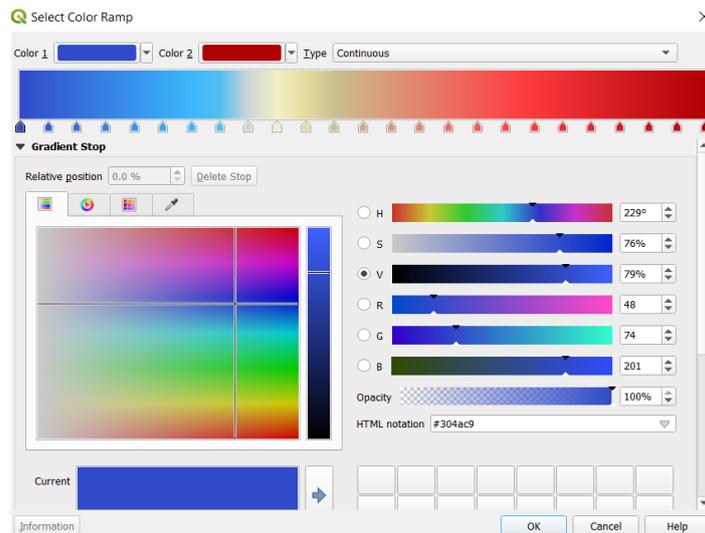


Abbildung 38: Farbabstufung der für die Anwendung verwendete Darstellung der Temperaturdaten

Die in Abbildung 38 ersichtlichen Farbwerte wurden für die Klassifizierung für die Layer mit der Temperaturveränderung angewendet.

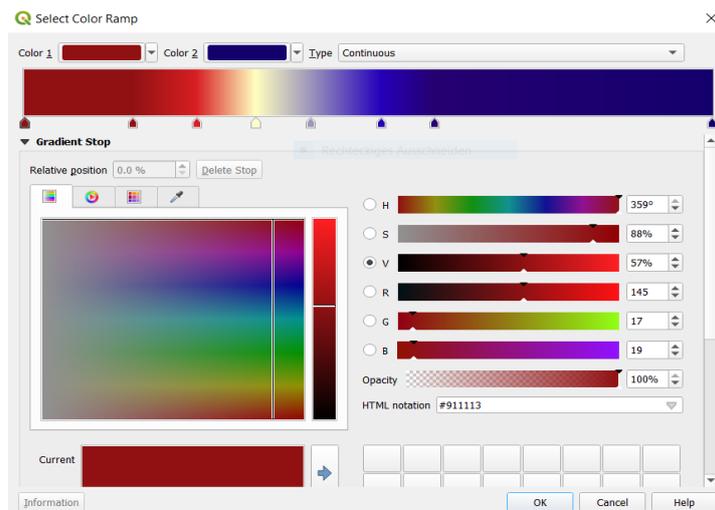


Abbildung 39: Farbabstufung der für die Anwendung verwendete Darstellung der Niederschlagsdaten

Die in Abbildung 39 ersichtlichen Farbwerte wurden für die Klassifizierung für die Layer mit der Niederschlagsveränderung angewendet.

7.4.4 Tiling

Nach der fertigen Klassifizierung der acht Rasterbilder mussten diese „getiled“ werden, also in kleinere Kartenausschnitte je nach Zoomstufe aufgeteilt werden. Dies ist mit dem QGIS Tool „Generate XYZ Tiles (Directory)“ möglich. Die Kartenausschnitte werden dadurch im PNG Format in einem Ordner mit Subordnern für jede Zoomstufe abgespeichert. Durch das Aufteilen in kleinere Bildausschnitte wird die Performance von Webkarten gesteigert, da je nach betrachtetem Ausschnitt der Karte auch nur die Bilder dieses Ausschnitts geladen werden. Diese Ordner sind die Basis für die spätere Kartenerstellung mit dem JavaScript Framework Leaflet.

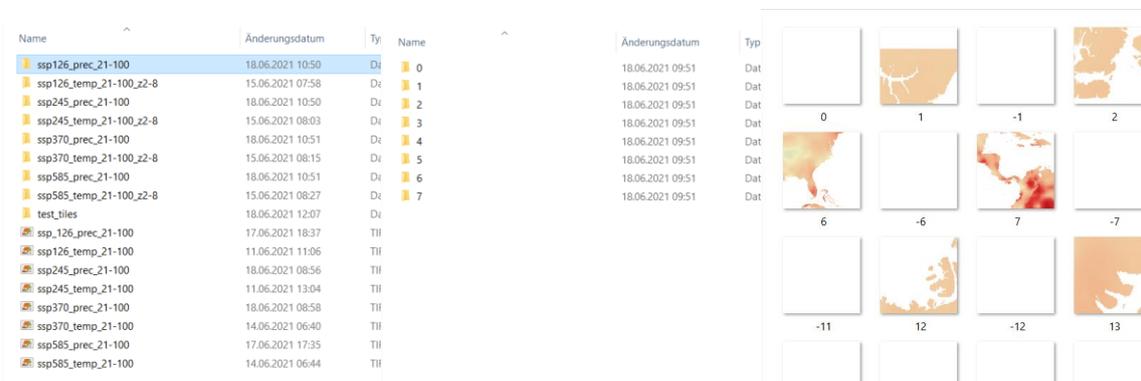


Abbildung 40: Tiling Directory – Ordnerstruktur der acht getilten Rasterbilder

7.5 Fertige Anwendung

Die folgenden zwei Kapitel gehen in kurzer Form auf das Ergebnis praktischen Teils ein. Zuerst auf das Interface, dann auf die interaktiven Funktionen. Genauere Informationen zur Programmierung und technischen Umsetzung finden sich im Code im Anhang.

7.5.1 Interface der Anwendung

Das Interface der Anwendung wird aus sieben Teilen bestehen. Der erste auf der linken Seite soll ein Abschnitt sein, der die Anwendung und deren Interaktionsmöglichkeiten erklärt. In einem Textteil wird beschreiben, was SSP Modelle sind, zwei weitere Buttons beziehen sich auf die Interaktionen, die durchgeführt werden können. Der Navigation Button soll ein Alert Fenster aufpoppen lassen, das erklärt, welche Interaktionen mit der Anwendung durchgeführt werden können. Direkt darunter soll sich ein Button befinden, mit dem die Kartensynchronisationsfunktion (Mapsync) ein- bzw. ausgeschaltet werden

kann. Am unteren Ende des Abschnittes wird ein Link implementiert, der auf eine Internetseite mit genauerer Erklärung zu SSP Modellen weiterleitet.

Weiter rechts sollen sich die vier Kartenfelder befinden, die die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagswerte visualisieren. Durch doppeltes klicken auf eines der Felder, soll sich dieses Kartenfeld auf fast den gesamten Bildschirm vergrößern, was einen genaueren Vergleich der Modelle ermöglicht. In den linken oberen Ecken der Kartenfelder befinden sich die Zoom-Buttons und die Layer Menüs. Mit dem Layer Menü soll man den dargestellten Inhalt verändern können - entweder Niederschlagswerte oder Temperaturwerte anzeigen lassen. Die beiden Elemente am rechten Rand der Anwendung sollen die Legenden darstellen. Das obere Element soll die Farbgebung für die Niederschlagswerte in mm, das untere jene für die Darstellung der Temperatur in Grad Celsius angeben.

7.5.2 Interaktive Funktionen der Anwendung

Da eine zu große Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten vor Allem bei ungeschulten Nutzern/Innen schnell zu kognitiver Überlastung führen kann, wurden für diese Anwendung abgesehen von üblichen Interaktionsmöglichkeiten wie Zoom oder einer Sidebar mit Informationen nur die Layer Control Funktion (Wechsel zwischen Niederschlag und Temperatur), die Mapsync Funktion (Karten synchronisieren) und eine Funktion, die es erlaubt, eine Karte in vergrößertem Kartenfeld zu betrachten eingebaut.

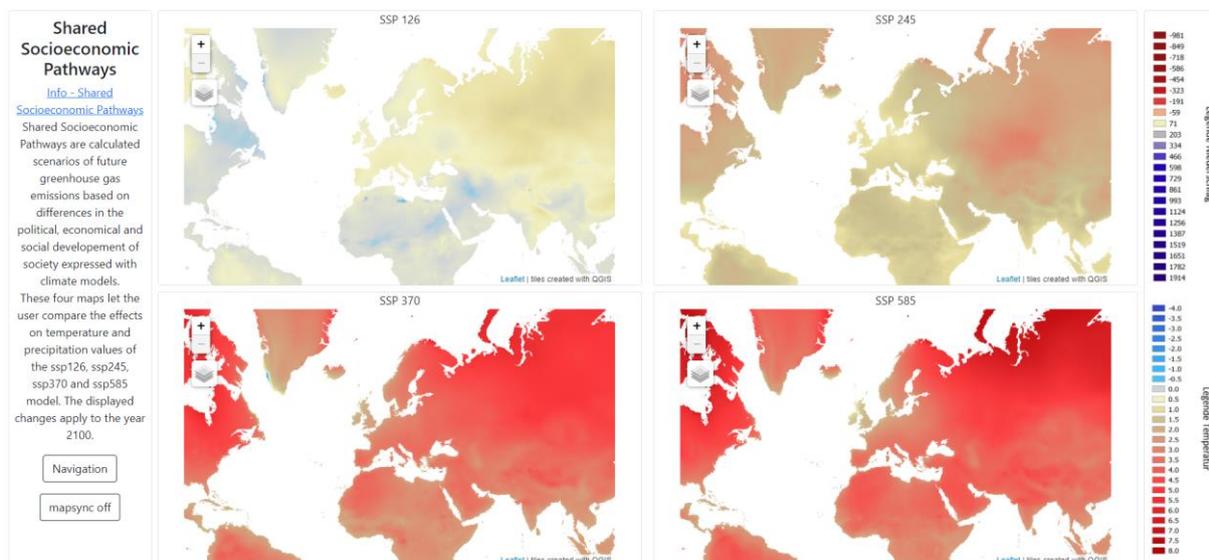


Abbildung 41: Aufbau des Interface der Anwendung

Zu den Interaktionen, die der/die Nutzer/In mit der Anwendung durchführen kann, zählen:

- Zoom
- Karten vergrößern
- Mapsync
- Layer Control
- Sidebar-Button

Zum normalen Zoom gibt es eine Funktion in der Anwendung, die ein Kartenfeld mittels Doppelklick bei Bedarf auf den gesamten Bildschirm ausweitet. Durch einfaches „mouseout“, also das Verlassen des Kartenfeldes mit dem Cursor, verkleinert sich die Karte von selbst wieder. Wird eine Karte vergrößert, so werden die restlichen drei Karten ausgeblendet, bis die Karte wieder verkleinert wird.

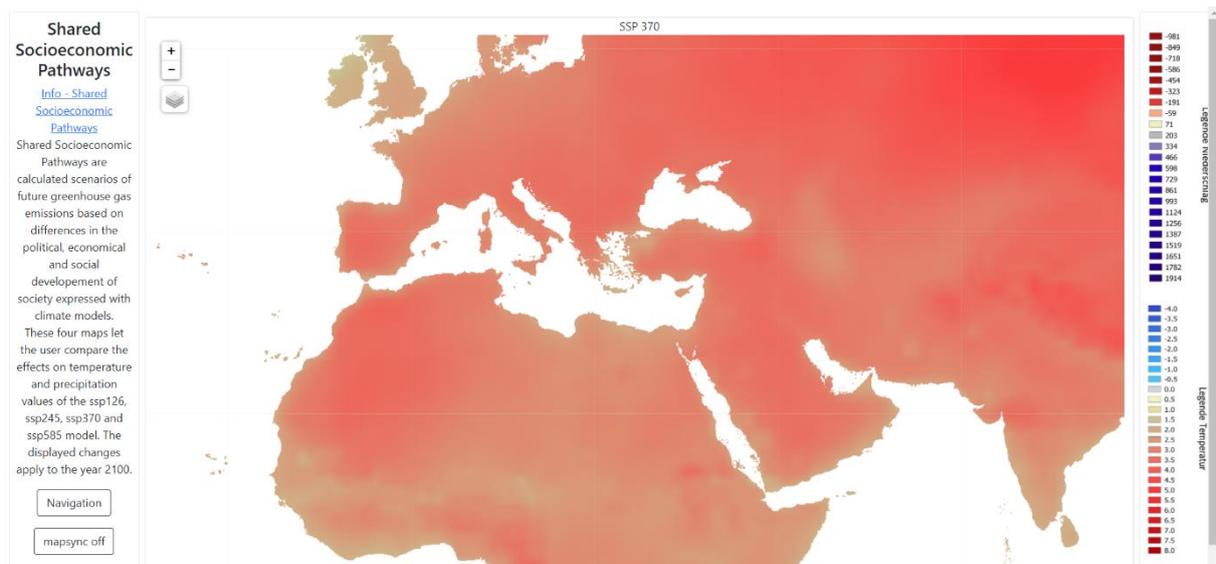


Abbildung 42: Vergrößerungsfunktion der Kartenfelder

Mapsinc ist eine eingebaute Funktion, die es dem/der Nutzer/In erlaubt, alle Karten gleichzeitig zu verschieben. Sie kann je nach gewünschter Betrachtungsweise ein- und ausgeschaltet werden. Auf diese Weise müssen nicht immer alle 4 Karten einzeln verschoben werden, wenn in einer Karte auf ein anderes Gebiet gewechselt wird – es bleibt aber trotzdem möglich verschieden Gebiete in verschiedenen Modellen zu betrachten.

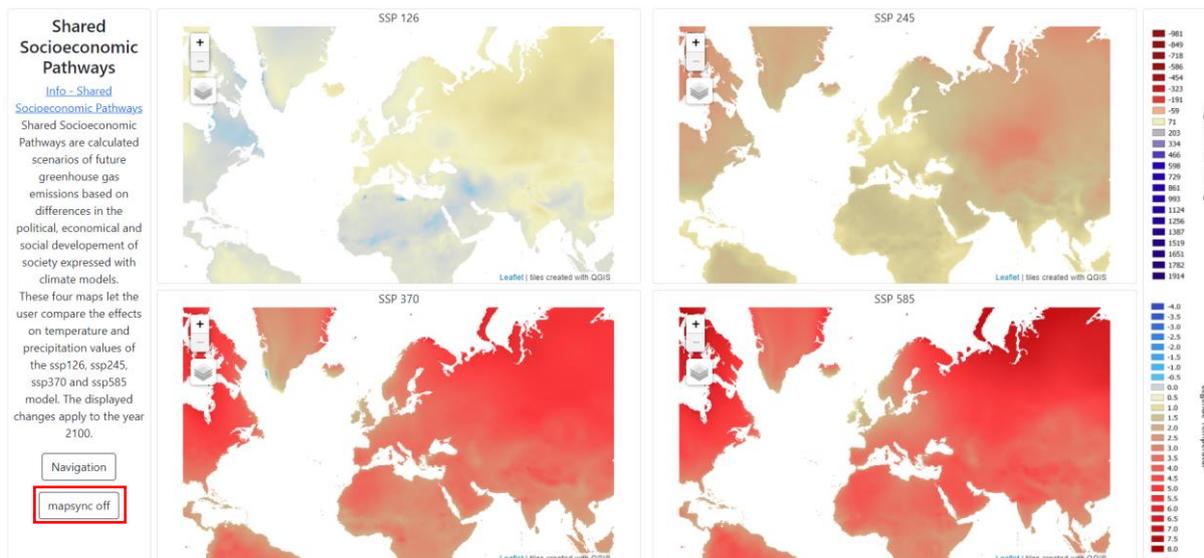


Abbildung 43: Mapsync Funktion

Eine weitere Funktion ist die Layer Control. Sie erlaubt es für jedes Kartefeld zwischen der Darstellung der Temperatur- und Niederschlagswerte zu wechseln, weshalb sie in Form eines Burger Menüs in jedem Kartefeld vorhanden ist.

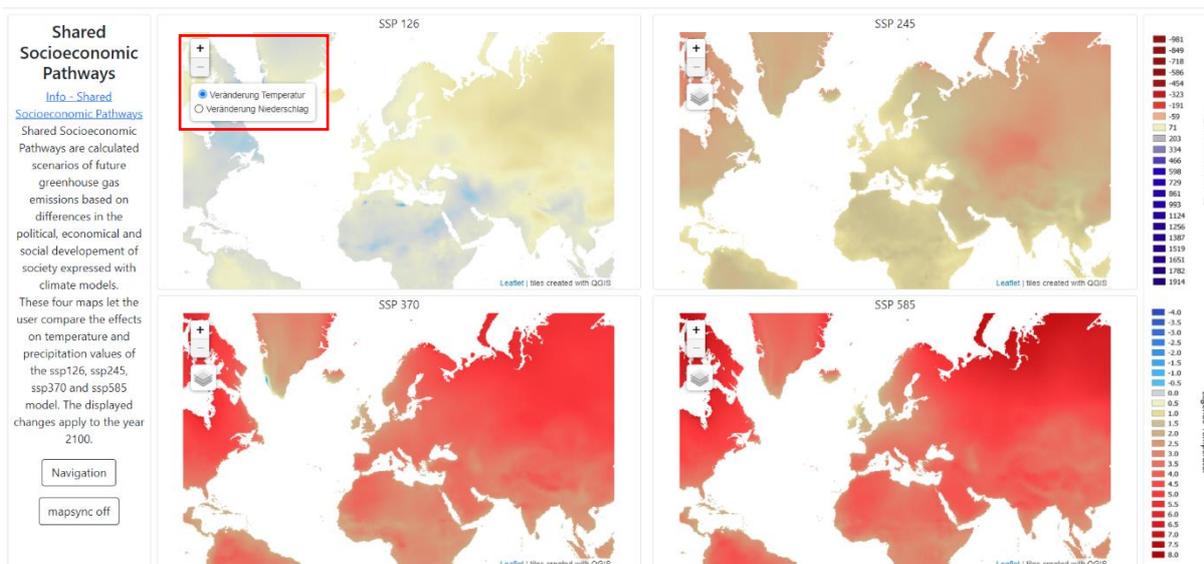


Abbildung 44: Zoom Funktion und Layer Menü

7.6. Probleme beim Erstellen der Anwendung

Wie schon in Kapitel 7.2. (Ziele für die Anwendung) angedeutet, hängt eine nach UX Kriterien perfekt gestaltete Anwendung immer maßgeblich von den verfügbaren Zeitressourcen für die Entwicklung ab. Da diese im Rahmen der Masterarbeit begrenzt

sind, soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass beim Endprodukt einige Abstriche gemacht werden mussten.

Eine Verbesserung der Webanwendung betreffend ist als wichtigster Punkt die Überprüfung der Usability Kriterien durch Probanden zu nennen. Die Anwendung wurde nach User Experience Kriterien, die in der Literatur ermittelt wurden, designet. Eine Überprüfung, ob diese Kriterien auch speziell in diesem Fall zu besserer Benutzbarkeit führen und ob das Ziel, die Anwendung möglichst nutzerfreundlich und einfach bedienbar zu machen durch deren Einbindung erreicht wurde, müsste durch eine Nutzerstudie validiert werden.

Auch wurden bei der technischen Umsetzung Kompromisse eingegangen. Wird der dargestellte Kartenausschnitt verschoben, so gibt es häufig Probleme beim Laden der Maptiles. Da diese von einer Koordinate in der Mitte des Kartenfeldes geladen werden, müssen die Randbereiche des Kartenfeldes auch über die Kartenmitte gezogen werden, um richtig dargestellt zu werden.

Weiter wurden die für diese Anwendung benutzten Tiles als Rastertiles gespeichert und verarbeitet. Dies ergibt den Nachteil, dass weitere denkbare Interaktionsmöglichkeiten ausscheiden - beispielsweise ein Selektieren und Aufhellen aller Kacheln beziehungsweise Rasterzellen mit gleichen Werten. Um eine größere Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung stellen zu können, sollte alternativ mit Vektortiles gearbeitet werden. Für diese Anwendung waren aber Rastertiles ausreichend.

Eine Idee beim Styling, etwa Ländergrenzen oder Städte beziehungsweise die Grenzen der Rasterzellen zu umrahmen, um bessere Orientierung für den/die Nutzer/In zur Verfügung zu stellen, stellte sich ebenfalls als problematisch heraus. Durch die hohe Anzahl an Kacheln, beziehungsweise die globale Ausdehnung der dargestellten Daten ergibt sich somit ein überladenes Kartenbild. Würde man Rasterzellen mit einem sehr dünnen schwarzen Rahmen umranden, wäre das gesamte Kartenbild schwarz, weil bei einer geringen Zoomstufe eine große Zahl an Rasterzellen existieren.

Zum Zweck des einfachen visuellen Vergleiches verschiedener Emissionsszenarien ist die Darstellung von vier Kartenfeldern sinnvoll und notwendig. Nachteil davon ist aber die geringe verfügbare Interfacefläche jedes der vier Kartenfelder. Alternativ könnte überlegt

werden, nur ein Kartefeld darzustellen und die restlichen drei Karten durch Verlinken auf neue Interfaceelemente nutzbar zu machen. Auch in diesem Fall wäre eine zukünftige Nutzerstudie wichtig für die Entscheidungsfindung.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Auch heute noch sind wir weit entfernt davon, die bis zum Jahr 2030 definierten Klimaziele zu erreichen. Auf die Politik dazu hat der einzelne Bürger nur wenig Einfluss. Trotzdem gibt es Veränderung im Leben eines Jeden, die die Erreichung dieser Ziele näherbringen können. Dafür braucht es Eigenengagement der Bevölkerung. Die im Rahmen dieser Arbeit entstandene interaktive Anwendung stellt einen Vorschlag dar, wie man das Thema Klimawandel auf Basis einer Webanwendung unter Einbezug aktuell geltender User Experience Kriterien einfach verständlich näherbringen und somit Eigenengagement stärken kann. Um die Erreichung der bis 2030 definierten Ziele zu gewährleisten, müssen wir alle zusammenhelfen und kleinere Veränderung, die für uns im Rahmen des Möglichen liegen vorantreiben. Dafür wichtig ist die Meinungsbildung. Als Medium für diese kann die hier entwickelte interaktive Anwendung zum Klimavergleich gesehen werden.

Hauptziel war es deshalb, eine einfache Klimavergleichsanwendung für den/die Laiennutzer/In zu erstellen.

Zu erwähnen ist, dass das sich das Ziel dieser Arbeit anfangs darauf beschränkte, eine geeignete Anwendung zum Vergleich von Emissionsszenarien unter Einbezug von User Experience Kriterien zu erstellen. Bei einer komplexeren Anwendung würde die kognitive Belastung vor Allem für den/die Laiennutzer/In ansteigen.

Im Rahmen der Literaturrecherche stellte sich heraus, dass interaktive Anwendungen im Gegensatz zu nicht interaktiven Anwendungen bei dem/der Nutzer/In zu verstärkter Merkleistung durch erhöhtes kognitives Involvement und Eigenengagement des dargestellten Inhaltes und somit zu besserem Lerneffekt führen. Durch zu viele Manipulationsmöglichkeiten kann der/die Nutzer/In allerdings überfordert werden. Die Organisation der Anwendung nach Kriterien der Interfacegestaltung, wie Anordnung der Buttons oder Größe des Kartenfeldes hat deshalb maßgeblichen Einfluss darauf, wie ein/eine Anwender/In mit einer interaktiven Applikation zurechtkommt. Aus diesen Erkenntnissen ergaben sich also die Fragen, welche Usability/UX Kriterien beachtet werden müssen und wie hoch das Maß an zur Verfügung gestellten Interaktionsmöglichkeiten sein soll.

Damit ist die Vereinigung von interaktiven Möglichkeiten zum besseren Lernen unter Gewährleistung einfacher Bedienbarkeit Kernthema dieser Arbeit.

Die bisher zum Klimavergleich erstellten Anwendungen sind oder waren sehr kompliziert aufgebaut und für den/die Laiennutzer/In ungeeignet. Sie stellen also ein Beispiel dessen dar, was im Rahmen dieser Arbeit vermieden werden sollte. Deren Komplexität, besonders bei der Anwendung von Joachim Ungar und dem AIT, ergibt sich aus der Vielzahl an möglichen Interaktionen und der komplizierten Datendarstellung. Deshalb wurde für diese Anwendung ein einfacher visueller Vergleich der Temperatur- und Niederschlagswerte der Gegenwart mit dem Zeitpunkt 2100 angestrebt. Dafür benutzt wurden Rasterdaten des CMIP6 Modellensembles des IPCC zu den Emissionsszenarien ssp126, ssp245, ssp370 und ssp585. Diese Emissionsszenarien gehen von unterschiedlich starken Treibhausgasemissionen aus, welche auf Unterschiede in der sozioökonomischen und demographischen Entwicklung der Menschheit in der Zukunft gestützt sind. Diese Unterschiede führen deshalb auch zu deutlichen Differenzen in den prognostizierten Temperatur - und Niederschlagswerten für das Jahr 2100. Alle Modelle zeigen eine starke Umverteilung des Niederschlags und einen Anstieg der Temperaturwerte in den meisten Gebieten der Erde und eigneten sich somit gut als Datengrundlage für die geplante Anwendung.

Neben der Wahl der Datengrundlage musste auch eine Entscheidung zu den verwendeten Technologien, also der Programmiersprache und dem GIS System getroffen werden. Die Wahl fiel auf Java Script zur Programmierung der Anwendung – unter anderem wegen des damit in Verbindung stehenden, eigens zur Kartendarstellung entwickelten Frameworks leaflet.js. Zur Datenaufbereitung wurde QGIS gewählt, da es ein Open Source Programm mit allen benötigten Funktionalitäten für das Ergebnis dieser Arbeit darstellt. Mit diesen Systemen ließ sich die Datenaufbereitung und Darstellung ohne größere Probleme umsetzen.

Betreffend die Nutzer spielen die Vorerfahrungen mit User Experience und Interfacegestaltung beim Design einer Anwendung eine große Rolle, weshalb die Analyse von aktuell in der Wissenschaft geltenden User Experience Kriterien eine wichtige Rolle spielte. In der Literatur ist aufgefallen, dass Nutzer/Innen oft eine verwirrende Anordnung der Interaktionsbuttons kritisieren (Nivala et al., 2008) und grundsätzlich zuerst die Ecken

einer Applikation nach diesen Buttons absuchen, bevor sie andere Gebiete des Interface betrachten. Aus diesem Grund sind die Zoombuttons und das Layer Menü beide im linken oberen Eck der Anwendung platziert.

Der Link auf der linken Seite der hier gestalteten Anwendung zur Website mit weiteren Informationen zu den SSPs, öffnet sich beim Klick in einem neuen Browserfenster und ist in blauer Farbe deutlich sichtbar gemacht. Diese Notwendigkeit hat die beschriebene Studie von Nivala (2008) ergeben. Wird nach Anklicken eines Links die Seite im gleichen Browserfenster geöffnet, also der alte Inhalt überschrieben, führt das häufig zu Verwirrung, da zur eigentlichen Anwendung zurück navigiert werden muss. Weiter wurde für diese Anwendung entschieden, alle vier Kartenfelder auf einer Interfacesseite darzustellen. Dies kann wie in Kapitel 7.6 dargestellt, je nach Ziel der Anwendung Vor- und Nachteile haben, war aber in diesem Fall die richtige Wahl, da es um einen visuellen Vergleich mehrerer Emissionsszenarien geht.

Die Interaktionsmöglichkeiten wurden auf die vom täglichen Gebrauch bekannten Aktionen wie Zoom, Vergrößerung oder Verkleinerung der Karten und einem Burger Menü zur Layer Auswahl beschränkt, um Einfachheit zu gewährleisten. Die einzige abgesehen davon hinzugefügte Funktion ist die Mapsync Funktion, die es möglich macht, alle vier Karten gleichzeitig zu verschieben und somit dieselben Gebiete verschiedener Modelle synchron zu vergleichen. Diese Funktion kann ein- und ausgeschaltet werden, um beide Arten des Vergleiches zu ermöglichen.

Um den Effekt der Anwendung auf die Bildung des Laienpublikums zum Klimawandel und deren Usability zu testen, reichte der Umfang dieser Arbeit nicht aus. Es wurde besonders auf die Frage eingegangen, welche Interfacekriterien und damit zusammenhängende Interaktionsmöglichkeiten für eine solche Anwendung beachtet werden müssen.

Gegenstand weiterer Forschung zu diesem Thema kann die Datengrundlage und deren Visualisierung darstellen, also welche Datengrundlagen und welche diese betreffende Darstellung den besten Effekt für ein gewünschtes Ziel liefern. Die in diesem Fall gewählten Daten bieten sich an, da sie durch eine einfache Zahl der Temperatur- oder Niederschlagsveränderung auch für Nutzer ohne viel Vorwissen zum Klimawandel gut zu interpretieren sind. Gleichzeitig ist deren Gebrauch aus dem Wetterbericht im Fernsehen bekannt und sie stellen für die im Rahmen dieser Arbeit beschränkten technischen

Möglichkeiten eine geeignete Datenbasis dar. Es gibt darüber hinaus eine Vielzahl anderer Klimavariablen, die für eine solche Anwendung verwendet werden könnten. Besonders interessant, wäre dabei die Frage, welche dieser Daten die Veränderungen am besten erlebbar machen, also die angesprochene Distanz von dem/der Nutzer/In zu den Folgen des Klimawandels am besten überbrücken können. So ist es denkbar, dass etwa die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagswerte der Monatsextreme eindrücklicher sind als die in diesem Fall verwendeten Daten.

Zukünftige Forschung sollte sich auch mit der Visualisierung klimabezogener Daten beschäftigen. Durch das Zusammenfassen von Werten zu Klassen gehen Informationen verloren, gleichzeitig ist eine solche Klassifikation aber notwendig, um die Daten nachvollziehbar darstellen zu können. Auch hier gibt es also noch Klärungsbedarf, welche Werte dargestellt werden sollten und wie sie dargestellt werden können, um einen optimalen Lerneffekt zu erzielen.

Literaturverzeichnis

Abplanalp, C.S. (1997). Möglichkeiten, Chancen und Grenzen des Lernens mit dem Internet im Vergleich zu traditionellen Aus- und Weiterbildungsformen sowie Auswirkungen auf die Rolle der Lehrkräfte – eine kritische Analyse. Diplomarbeit Universität Sankt Gallen.

Online unter:

<https://www.stangl-taller.at/paedpsych/PAEDPSYCH/NETSCHULE-/NETSCHULELITERATUR/Abplanalp97.html>

Zugriff: (30.03.2022)

Brauchli, M. (2020). Die Erdbahnparameter geben den Takt vor – Nagra Blog.

Online unter:

<https://www.nagra-blog.ch/2020/06/30/die-erdbahnparameter-geben-den-takt-vor/>

Zugriff: (05.08.2021)

Cermak-Sassenrath, D. (2015). Interaktivität als Spiel: neu Perspektiven auf den Alltag mit dem Computer. transcript Verlag.

CGIAR. (2021). Climate Change, Agriculture and Food Security.

Cybulski, P., & Horbinski, T. (2020). User Experience in Using Graphical User Interfaces of Web Maps. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(7).

<https://doi.org/10.3390/ijgi9070412>

de Souza Leão, E. B., do Nascimento, L. F. M., de Andrade, J. C. S., & de Oliveira, J. A. P. (2020). Carbon accounting approaches and reporting gaps in urban emissions: An analysis of the Greenhouse Gas inventories and climate action plans in Brazilian cities. Journal of Cleaner Production, 245, 118930.

DLR Portal (2017). Ozonloch 2017: So klein wie selten zuvor.

Online unter:

https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2017/20171012_ozonloch-2017-so-klein-wie-selten-zuvor_24579.html

Zugriff: (30.03.2022)

Donau Universität Krems. (2017). Alltag mit dem Internet of Things.

Online unter:

<https://imbstudent.donau-uni.ac.at/wmmd-tfi/category/interaktive-medien/>

Zugriff: (30.03.2022)

Edwards, P. N. (2011). History of climate modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 128–139. <https://doi.org/10.1002/wcc.95>

Eveland, W. P., & Dunwoody, S. (2014). User Control and Structural Isomorphism or Disorientation and Cognitive Load? Learning From the Web Versus Print.

Researchgate.Net, 28(1), 48–78.

<https://doi.org/10.1177/009365001028001002>

Gelfand, A., Fuentes, M., Hoeting, J. A., Smith, R. L., & Stephenson, D. B. (2019). Climate Modelling. In *Handbook of Environmental and Ecological Statistics* (pp. 641–656).

Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315152509-28>

GeoSystemErde. (2016). Plattentektonik.

Online unter:

<https://www.geosystem-erde.de/unterricht/entstehung-und-geschichte-der-erde/aus-der-tiefe-der-erde/plattentektonik/>

Zugriff: (30.03.2022)

Grafakos, S., Viero, G., Reckien, D., Trigg, K., Viguie, V., Sudmant, A., Graves, C., Foley, A., Heidrich, O., Mirailles, J. M., & others. (2020). Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109623.

Greenpeace. (2014). Ursache und Wirkung des Ozonlochs.

Online unter:

<https://www.greenpeace.de/themen/klimawandel/ursache-und-wirkung-des-ozonlochs>

Zugriff: (05.06.2021)

Heidrich, O., Reckien, D., Olazabal, M., Foley, A., Salvia, M., de Gregorio Hurtado, S., Orru, H., Flacke, J., Geneletti, D., Pietrapertosa, F., & others. (2016). National climate policies across Europe and their impacts on cities strategies. *Journal of Environmental Management*, 168, 36–45.

Herring, J., VanDyke, M. S., Cummins, R. G., & Melton, F. (2017). Communicating local climate risks online through an interactive data visualization. *Environmental Communication*, 11(1), 90–105.

Institut, J. (2021). User Experience ungleich Usability.

Online unter:

<https://www.johner-institut.de/blog/iec-62366-usability/user-experience/>

Zugriff: (30.01.2022)

IONOS. (2019). User Centered Design.

Online unter:

<https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/user-centered-design/>

Zugriff: (12.11.2021)

Johnson, S., Haney, J., Cairone, L., Huskey, C., & Kheirbek, I. (2020). Assessing Air Quality and Public Health Benefits of New York City's Climate Action Plans. *Environmental Science & Technology*, 54(16), 9804–9813.

Khadka, A., Li, C. J., Stanis, S. W., & Morgan, M. (2020). Unpacking the power of place-based education in climate change communication. *Applied Environmental Education and Communication*.

<https://doi.org/10.1080/1533015X.2020.1719238>

- Kim, H., & Stout, P. A. (2010). The effects of interactivity on information processing and attitude change: Implications for mental health stigma. *Health Communication*, 25(2), 142–154. <https://doi.org/10.1080/10410230903544936>
- Knöpfli, R. (1981). Kartographische Kommunikation. *Vermessung, Photogrammetrie*, 79(4), 113–122.
- Koger, S. M., Leslie, K. E., & Hayes, E. D. (2011). Climate change: Psychological solutions and strategies for change. *Ecopsychology*, 3(4), 227–235.
- Kollman, T. (2019). *E-Business: Grundlagen elektronischer Geschäftsprozesse in der Digitalen Wirtschaft*. Springer Gabler.
- Kramers, E. R. (2008). Interaction with maps on the internet--a user centred design approach for the atlas of Canada. *The Cartographic Journal*, 45(2), 98–107.
- Labs, W. (2021). BAD UX CHOICES THAT COST COMPANIES MILLIONS.
Online unter:
<https://w3-lab.com/bad-ux-choices-cost-companies-millions/>
Zugriff: (10.10.2021)
- Lallemand, C., Gronier, G., & Koenig, V. (2015). User experience: A concept without consensus? Exploring practitioners' perspectives through an international survey. *Computers in Human Behavior*, 43, 35–48.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.048>
- Laurel, B. (1993). *Computers as Theater*. Wesley Publishing Company.
- Lustria, M. L. A. (2007). Can interactivity make a difference? Effects of interactivity on the comprehension of and attitudes toward online health content. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(6), 766–776.
<https://doi.org/10.1002/asi.20557>
- Maioli, L. (2018). *Fixing Bad UX Designs: Master proven approaches, tools, and techniques to make your user experience great again*.

- Malberg, H. (2007). Meteorologie und Klimatologie : eine Einführung ; mit 56 Tabellen. In Springer.
- Mämecke, T.; Passoth, J-H.; Wehner, J. (2018). Bedeutende Daten.
- Mara, A. (2020). UX on the Go: A Flexible Guide to User Experience Design. Routledge.
- McGuffie, K, & Henderson-Sellers, A. (2005). Climate Modelling Primer.
- McGuffie, Kendal, & Henderson-Sellers, A. (2005). A Climate Modelling Primer. In A Climate Modelling Primer. wiley. <https://doi.org/10.1002/0470857617>
- Moser, S. C., & Dilling, L. (2011). Communicating climate change: closing the science-action gap. The Oxford Handbook of Climate Change and Society, 161–174.
- Nivala, A.-M., Brewster, S., Sarjakoski, T. L., & Sarjakoski, L. T. (2008). Usability Evaluation of Web Mapping Sites. The Cartographic Journal, 45(2), 129–138. <https://doi.org/10.1179/174327708X305120>
- Paeth, H. (2007). KLIMAMODELLSIMULATIONEN.
Online unter:
<https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/2626/44.pdf?sequence=1>
Zugriff: (30.03.2022)
- Pflegpeter, A. (2020). Navigationsbasierter Erwerb von räumlichem Wissen mit Karten.
- Raith, W. (2001). Erde und Planeten. In Wilhelm Raith (Ed.), Erde und Planeten. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110198027>
- Ramirez Villegas, J., Lau, C., Kohler, A. K., Jarvis, A., Arnell, N., Osborne, T. M., & Hooker, J. (2011). Climate analogues: finding tomorrow's agriculture today.
- Reckien, D., Flacke, J., Dawson, R. J., Heidrich, O., Olazabal, M., Foley, A., Hamann, J.-P.,

- Orru, H., Salvia, M., Hurtado, S. D. G., & others. (2014). Climate change response in Europe: what's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. *Climatic Change*, 122(1–2), 331–340.
- Roth, R. E., Çöltekin, A., Delazari, L., Filho, H. F., Griffin, A., Hall, A., Korpi, J., Lokka, I., Mendonça, A., Ooms, K., & others. (2017). User studies in cartography: opportunities for empirical research on interactive maps and visualizations. *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 61–89.
- Tsach, S., Tatievsky, A., London, L. (2015). Future Commercial Aviation Trends. Online unter: https://www.researchgate.net/figure/Projected-development-of-computing-capacity-through-2100-showing-Million-Instructions-Per_fig12_267842440
Zugriff: (30.03.2022)
- Spiegel. (2005). Klimawandel facht Wirbelstürme an. Online unter: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/hurrikan-katrina-klimawandel-facht-wirbelstuerme-an-a-371987.html>
Zugriff: (30.03.2022)
- Thaker, J., Zhao, X., & Leiserowitz, A. (2017). Media use and public perceptions of global warming in India. *Environmental Communication*, 11(3), 353–369.
- University of Hokkaido. (2020). Subpolar margin seas play a key role in making the subarctic Pacific nutrient-rich. Online unter: <https://www.global.hokudai.ac.jp/blog/subpolar-marginal-seas-play-a-key-role-in-making-the-subarctic-pacific-nutrient-rich/>
Zugriff: (30.03.2022)
- Ungar, J. K. (2011). A comparative analysis of region pairs matching current and future climate conditions. *uniwien*.

Veloz, S. D., Williams, J. W., Blois, J. L., He, F., Otto-Bliesner, B., & Liu, Z. (2012). No-analog climates and shifting realized niches during the late quaternary: implications for 21st-century predictions by species distribution models. *Global Change Biology*, 18(5), 1698–1713.

Veloz, S., Williams, J. W., Lorenz, D., Notaro, M., Vavrus, S., & Vimont, D. J. (2012). Identifying climatic analogs for Wisconsin under 21st-century climate-change scenarios. *Climatic Change*, 112(3–4), 1037–1058.

Wang, S., Corner, A., Chapman, D., Markowitz, E., Clarke, J., Herring, J., VanDyke, M. S., Cummins, R. G., & Melton, F. (2016). Public engagement with climate imagery in a changing digital landscape. *Environmental Communication*, 11(2), 90–105.

Weber, R., Dinc, S., & Williams, M. (2016). Americans' Support for NASA's James Webb Space Telescope: Effects of Traditional Texts Compared to Interactive Media. *Science Communication*, 38(5), 601–625.
<https://doi.org/10.1177/1075547016663001>

Weltderphysik. (2009). Das Ozonloch.

Online unter:

<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/ozonloch/>

Zugriff: (27.12.2021)

Wetter und Klima — ZAMG. (2020).

Online unter:

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/wetter-und-klima>

Zugriff: (16.11.2021)

Wetterdienst.de. (2021). Der Treibhauseffekt.

Online unter:

https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema_des_Tages/1476/der-treibhauseffekt

Zugriff: (20.10.2022)

Anhang

Java Script Code:

```

<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Hallo Welt</title>
  <link rel="stylesheet" href="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.7.3/leaflet.css"/>
  <link href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.1/dist/css/bootstrap.min.css"
rel="stylesheet" integrity="sha384-
F3w7mX95PdgyTmZZMECAngseQB83DfGTowi0iMjiWaeVhAn4FJkqJByhZMI3AhiU"
crossorigin="anonymous">
  <script src="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.7.3/leaflet.js"></script>
  <script src="\Projektdateien\plugins\Leaflet.Sync-master\L.Map.Sync.js"></script>
</head>

<style>
  #img_prec {
    /* position: absolute; */
    width: 100px;
    height: 360px;
    /* left: 20px; */
  }

  #img_temp {
    width: 100px;
    height: 360px;
  }
</style>

<body>
<div class = "container-auto m-2 d-flex">

  <div id="sidebar" class="flex-shrink-1 border rounded text-center mx-1 p-2"
style="max-width:200px">
    <h1 class="fs-4">Shared Socioeconomic Pathways</h1>
    <a class="link-primary"
href="https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/SSP_Scenario_D
atabase.html" target="_blank">Info - Shared Socioeconomic Pathways</a>
    <p>Shared Socioeconomic Pathways are calculated scenarios of future
greenhouse gas emissions based on differences in the political, economical and social
development of society expressed with climate models. <br> These four maps let the

```

user compare the effects on temperature and precipitation values of the ssp126, ssp245, ssp370 and ssp585 model. The displayed changes apply to the year 2100.</p>

```

    <button id="navigation" class="btn btn-outline-dark mb-3">Navigation</button>
    <button id="mapsync" class="btn btn-outline-dark mb-1">mapsync off</button>
  </div>

  <div id="all-maps-div" class="flex-grow-1 text-center mx-2">
    <div class="row mb-2">
      <div id="ssp126-div" class="col mx-2 border rounded">
        <span>SSP 126</span>
        <div class="mx-auto" id="layer1" style="width:600px;
height:360px;"></div>
        <!-- <div id="ssp126">SSP 126</div> -->
      </div>
      <div id="ssp245-div" class="col mx-2 border rounded">
        <span>SSP 245</span>
        <div class="mx-auto" id="layer2" style="width:600px;
height:360px;"></div>
        <!-- <div id="ssp245">SSP 245</div> -->
      </div>
    </div>
    <div class="row">
      <div id="ssp370-div" class="col mx-2 border rounded">
        <span>SSP 370</span>
        <div class="mx-auto" id="layer3" style="width:600px;
height:360px;"></div>
        <!-- <div id="ssp370">SSP 370</div> -->
      </div>
      <div id="ssp585-div" class="col mx-2 border rounded">
        <span>SSP 585</span>
        <div class="mx-auto" id="layer4" style="width:600px;
height:360px;"></div>
        <!-- <div id="ssp585">SSP 585</div> -->
      </div>
    </div>
  </div>

  <!-- Legenden -->
  <div class="border rounded mx-1">
    <br>
    <div id="legende_prec" class="col legend-img">
      
    </div>
    <br>
    <div id="legende_temp" class="col legend-img">
      
    </div>
  </div>
</div>

```

```

<script type="text/javascript">

var map1 = L.map('layer1', {
    center: [47.50, 13.00],
    zoom: 2,
    minZoom: 2,
    maxZoom: 10
});

var layer1 = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp126_temp_21-100_z2-
8/{z}/{x}/{y}.png', {
    attribution: 'tiles created with QGIS'
}).addTo(map1);

var layer1n = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp126_prec_21-100/{z}/{x}/{y}.png',
{
    tms: false,
    attribution: 'tiles created with QGIS'
});

var lys1 = {
    "Veränderung Temperatur": layer1,
    "Veränderung Niederschlag": layer1n
};

var layerControl = L.control.layers(lys1, null, {position: 'topleft'});
layerControl.addTo(map1);

var allMapsDiv = document.getElementById('all-maps-div')
var map1Div = document.getElementById('ssp126-div')
var map2Div = document.getElementById('ssp245-div')
var map3Div = document.getElementById('ssp370-div')
var map4Div = document.getElementById('ssp585-div')

map1Div.addEventListener("dblclick", function() {
    let width = allMapsDiv.clientWidth
    let height = allMapsDiv.clientHeight
    let layer1 = document.getElementById('layer1')

    map2Div.hidden = true
    map3Div.hidden = true
    map4Div.hidden = true

    layer1.setAttribute('style', `width: ${width}px; height: ${height}px; position:
relative;`)
})

allMapsDiv.addEventListener('mouseleave', function() {
    let layer1 = document.getElementById('layer1')
    let layer2 = document.getElementById('layer2')
    let layer3 = document.getElementById('layer3')

```

```

let layer4 = document.getElementById('layer4')
layer1.setAttribute('style', `width: 600px; height: 360px; position: relative;`)
layer2.setAttribute('style', `width: 600px; height: 360px; position: relative;`)
layer3.setAttribute('style', `width: 600px; height: 360px; position: relative;`)
layer4.setAttribute('style', `width: 600px; height: 360px; position: relative;`)

map1Div.hidden = false
map2Div.hidden = false
map3Div.hidden = false
map4Div.hidden = false
})

var map2 = L.map('layer2', {
  center: [47.50, 13.00],
  zoom: 2,
  minZoom: 2,
  maxZoom: 10
});

var layer2 = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp245_temp_21-100_z2-8/{z}/{x}/{y}.png', {
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
}).addTo(map2);

var layer2n = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp245_prec_21-100/{z}/{x}/{y}.png',
{
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
});

var lys2 = {
  "Veränderung Temperatur": layer2,
  "Veränderung Niederschlag": layer2n
};

var layerControl = L.control.layers(lys2, null, {position: 'topleft'});
layerControl.addTo(map2);

map2Div.addEventListener("dblclick", function() {
  let width = allMapsDiv.clientWidth
  let height = allMapsDiv.clientHeight
  let layer2 = document.getElementById('layer2')

  map1Div.hidden = true
  map3Div.hidden = true
  map4Div.hidden = true

  layer2.setAttribute('style', `width: ${width}px; height: ${height}px; position:
relative;`)
})

```

```

var map3 = L.map('layer3', {
  center: [47.50, 13.00],
  zoom: 2,
  minZoom: 2,
  maxZoom: 10
});

var layer3 = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp370_temp_21-100_z2-
8/{z}/{x}/{y}.png', {
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
}).addTo(map3);

var layer3n = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp370_prec_21-100/{z}/{x}/{y}.png',
{
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
});

var lys3 = {
  "Veränderung Temperatur": layer3,
  "Veränderung Niederschlag": layer3n
};

var layerControl = L.control.layers(lys3, null, {position: 'topleft'});
layerControl.addTo(map3);

var map4 = L.map('layer4', {
  center: [47.50, 13.00],
  zoom: 2,
  minZoom: 2,
  maxZoom: 10
});

var layer4 = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp585_temp_21-100_z2-
8/{z}/{x}/{y}.png', {
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
}).addTo(map4);

var layer4n = L.tileLayer('/Projektdateien/tiles/ssp585_prec_21-100/{z}/{x}/{y}.png',
{
  tms: false,
  attribution: 'tiles created with QGIS'
});

var lys4 = {
  "Veränderung Temperatur": layer4,
  "Veränderung Niederschlag": layer4n
}

```

```

};

var layerControl = L.control.layers(lys4, null, {position: 'topleft'});
layerControl.addTo(map4);

var sync = false

var mapsync = document.getElementById('mapsync');

mapsync.addEventListener("click", function(){
  if (sync === false){
    mapsync.innerHTML = 'mapsync on';
    map1.sync(map2);
    map1.sync(map3);
    map1.sync(map4);
    map2.sync(map3);
    map2.sync(map4);
    map2.sync(map1);
    map3.sync(map1);
    map3.sync(map2);
    map3.sync(map4);
    map4.sync(map3);
    map4.sync(map2);
    map4.sync(map1);

    } else {
    mapsync.innerHTML = 'mapsync off';
    map1.unsync(map2);
    map1.unsync(map3);
    map1.unsync(map4);
    map2.unsync(map3);
    map2.unsync(map4);
    map2.unsync(map1);
    map3.unsync(map1);
    map3.unsync(map2);
    map3.unsync(map4);
    map4.unsync(map3);
    map4.unsync(map2);
    map4.unsync(map1);

    };
  sync = !sync;
});

var nav = document.getElementById('navigation');

nav.addEventListener('click', function(){
  alert ('doubleklick map to enlarge, move mouse outside map to smallen');
});
</script>

```

```
<script  
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.1/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"  
integrity="sha384-  
/bQdsTh/da6pkl1MST/rWKFNjaCP5gBSY4sEBT38Q/9RBh9AH40zEOg7HIq2THRZ"  
crossorigin="anonymous"></script>
```

```
</body>  
</html>
```

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Christian Golth,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Salzburg am 30.03.2022

