

Berliner Hochschule für Technik

Fachbereich III – Bauingenieurwesen und Geoinformation

im Studiengang
Umweltinformationen – GIS (Master)

Visualisierung des Einflusses des Klimawandels
auf Wasserhaushalt, Böden und Vegetation durch
interaktive Dashboards

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

Tim Sahre
Matrikelnummer 874538

Betreuer:	Prof. Dr. Florian Hruby
Zweitgutachterin:	Prof. Dr. Immelyn Domnick

Abgabetermin: 4. März 2024

Abstract¹

Diese Masterarbeit untersucht das Potenzial interaktiver Dashboards zur Vermittlung der Komplexität von Klimawandel-Auswirkungen auf Hydrologie, Boden und Vegetation. Sie beleuchtet die Herausforderungen der Wissenschaftskommunikation im digitalen Zeitalter, mit einem besonderen Fokus auf die kritische Bewertung von Quellen und die Darstellung wissenschaftlicher Daten. Durch die Entwicklung und vergleichende Analyse von Dashboard-Lösungen zielt die Arbeit darauf ab, wissenschaftliche Daten für die Öffentlichkeit zugänglich und verständlich zu machen. Die Bedeutung von Kontextualisierung und nutzerzentriertem Design wird hervorgehoben, um Dashboards zu erstellen, die aufklären und das Publikum einbinden, um ein tieferes Verständnis für Umweltprobleme zu fördern.

1 In dieser Arbeit wird aus Gründen der Lesbarkeit auf die Verwendung von Gendersternchen und ähnlichen sprachlichen Mitteln zur geschlechtsneutralen Formulierung verzichtet. Dies soll keineswegs die Wichtigkeit der Geschlechtergerechtigkeit mindern; vielmehr sind alle Geschlechter und Identitäten stets mitgemeint und wertgeschätzt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1. Wissenschaftlicher Konsens zum Klimawandel.....	4
1.2. Gesellschaftliche Dynamiken und Herausforderungen.....	5
1.3. Einfluss von Medien und politischen Diskursen.....	5
1.4. Die Rolle der Wissenschaft.....	7
2. Konzept.....	8
2.1. Relevanz der Arbeit.....	8
2.2. Problemstellung.....	10
2.3. Dashboards in der Wissenschaftskommunikation.....	12
2.4. Konzeptuelle Ziele der Arbeit.....	13
3. Methodik.....	15
3.1. Vergleichsanalyse von Dashboard-Lösungen.....	15
3.1.1 Theoretischer Rahmen und konzeptionelle Schwerpunkte.....	17
3.2. Kriterien für die Entwicklung des Dashboards.....	19
3.2.1 Kriterien für die Auswahl und Bewertung der Datenquellen.....	19
3.2.2 Leitlinien für die Integration der Kontextinformationen.....	21
3.2.3 Designprinzipien für benutzerzentrierte Dashboards.....	22
4. Implementation.....	23
4.1. Technologische Entscheidungen.....	24
4.1.1 Auswahlkriterien.....	24
4.1.2 Wahl der Programmiersprache.....	25
4.1.3 Wahl des Frameworks.....	26
4.1.3.1 Grundlegende Architektur von Dash.....	27
4.1.3.2 Grundlegende Funktion von Dash.....	28
4.2. Projektstruktur.....	31
4.3. Datengrundlage und Datenprozessierung.....	35
4.4. Layout.....	38
4.5. Design.....	40
4.6. Steuerungs- und Darstellungskomponenten.....	43
4.7. Ergänzende Informationen und Kontextualisierung.....	44
5. Diskussion.....	48

5.1. Herausforderungen bei der Umsetzung des gewählten Konzepts.....	49
5.2. Bewertung der gewählten Infrastruktur.....	51
5.3. Technische Hürden.....	53
5.4. Fazit und Ausblick.....	56
5.5. Abschließende Betrachtung.....	58
6. Anhang.....	64
7. Eigenständigkeitserklärung.....	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Codebeispiel eines simplen, interaktiven Dash Widgets (In Anlehnung an [97]).....	31
Abbildung 2: Sequenzdiagramm zur Veranschaulichung der Callback Logik (Eigene Darstellung)	32
Abbildung 3: Projektstruktur (Eigene Darstellung).....	33
Abbildung 4: Flussdiagramm zur Funktionslogik (Eigene Darstellung).....	35
Abbildung 5: Allgemeines Seitenlayout (Eigene Darstellung).....	41
Abbildung 6: Beispiel für Farbkodierung (Eigene Darstellung).....	43
Abbildung 7: Beispielhafte Einstellungen auf der Einführungsseite (eigene Darstellung).....	44
Abbildung 8: Kontextinformationen auf der Einführungsseite (eigene Darstellung).....	46
Abbildung 9: Informationsbutton auf der Einführungsseite (eigene Darstellung).....	47
Abbildung 10: Beispiel eines Tooltips auf der Unterseite CO ₂ Emittenten (eigene Darstellung).....	48
Abbildung 11: Sequenzdiagramm Datenfluss (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 12: restart due to memory overflow (Screenshot).....	55

1. Einleitung

Die Einleitung dieser Arbeit legt die Grundlage für die Diskussion um den menschengemachten Klimawandel, der durch einen breiten wissenschaftlichen Konsens gestützt wird, und beleuchtet die gesellschaftlichen, medialen und politischen Dynamiken, die das öffentliche Verständnis und den Diskurs über dieses globale Phänomen prägen. Sie betrachtet zudem die Herausforderungen, denen sich die Wissenschaftskommunikation gegenüberstellt, um ein korrektes Verständnis der stochastischen Natur der Klimaforschung zu vermitteln und ein fundiertes Verständnis für notwendige Maßnahmen gegen den Klimawandel zu fördern.

1.1. Wissenschaftlicher Konsens zum Klimawandel

Es besteht mittlerweile ein breiter wissenschaftlicher Konsens über den menschengemachten Klimawandel (Vgl. Cook et al., 2013 [1]). So legt der Bericht Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability [2] des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ausführlich dar, dass die globalen Temperaturen aufgrund menschlicher Emissionen von Treibhausgasen kontinuierlich ansteigen (Vgl. NASA, 2023 [3]) und führende Klimaforscher sind sich einig, dass der aktuelle Klimawandel anthropogen getrieben ist. Auch wenn es nach wie vor schwierig ist, den Einfluss des Klimawandels auf Naturphänomene wie Dürren, Überschwemmungen, Stürme oder andere Extremwetterereignisse kategorisch zu beweisen, so legen Studien nahe, dass diese mit steigenden Temperaturen nicht nur wahrscheinlicher, sondern auch schwerwiegender ausfallen (Vgl. Carbon Brief, o.J. [4])². Trotz des breiten wissenschaftlichen Konsenses bleibt die öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels und seiner Folgen vielschichtig und wird in den Medien oft kontrovers diskutiert. Auch wenn eine wachsende Anzahl von Menschen den wissenschaftlichen Konsens über den menschengemachten Klimawandel anerkennt und politische Maßnahmen zum Klimaschutz befürwortet, finden sich gleichzeitig auch zunehmend prominente Stimmen, welche öffentlich Widerspruch artikulieren. Die zunehmend emotionalen Debatten rund um das Thema Klimawandel verdeutlichen nicht nur die wissenschaftliche, sondern auch die gesellschaftliche Komplexität des Themas.

2 Diese interaktive Karte von der website "Carbon Brief" visualisiert wissenschaftliche Studien, die extreme Wetterereignisse weltweit und deren Verbindungen zum Klimawandel untersuchen.

1.2. Gesellschaftliche Dynamiken und Herausforderungen

Auch wenn der Klimaschutz nach wie vor als eines der wichtigsten politischen Themen wahrgenommen wird, hat die Zustimmung zu Klimaschutzmaßnahmen in der jüngeren Vergangenheit stark nachgelassen. Laut des ARD-Deutschlandtrends, welcher auf Umfragen von Infratest dimap basiert, war in der Wahrnehmung der Befragten der Klimawandel im April 2023 noch das wichtigste politische Thema (26 % Zustimmung) [5]. Ein halbes Jahr später, im Oktober 2023, wurde der Klimawandel zwar immer noch als zweitwichtigstes Problem wahrgenommen, lag aber mit nur noch 18 % Zustimmung weit hinter dem Thema Zuwanderung (44 % Zustimmung) [6]. Als Erklärung für das nachlassende Interesse am Klimaschutz wird zunächst oft darauf verwiesen, dass sich die Gesellschaft in jüngster Zeit mit einer Reihe von komplexen Krisen konfrontiert sieht. Die prominentesten Beispiele hierfür wären die Coronapandemie und der Ukrainekrieg sowie die daraus erfolgenden Wirtschaftskrisen- und die, speziell im Falle des Ukrainekrieges, sich wieder verstärkende Migration. In Zeiten solcher "Polykrisen" (Vgl. Tooze, 2022 [7]), kommt es notgedrungen auch zur Themen-Konkurrenz um eine begrenzte Aufmerksamkeit sowie einer ständigen Verschiebung der subjektiven Gefahren-Wahrnehmung. Es gibt keinen allgemeinen Konsens darüber, welche Maßnahmen in welchem Umfang angestrebt werden sollten, um dem Klimawandel zu begegnen. Der Klimawandel ist somit per se ein gesellschaftliches Konfliktthema und die Frage, wie eine vernünftige Klimapolitik gestaltet werden könnte, spaltet die Gesellschaft und führt regelmäßig zu politischen Auseinandersetzungen. Insbesondere pluralistische, demokratische Gesellschaften stehen hierbei vor schwierigen Entscheidungen, die oft eine Abwägung zwischen verschiedenen Zielen und Präferenzen erfordern. Demokratische Gesellschaften können nur dann handlungsfähig sein, wenn es ihnen gelingt, hierbei zu vermitteln und somit bestehende Differenzen bestmöglich zu überwinden.

1.3. Einfluss von Medien und politischen Diskursen

Im gesellschaftlichen Aushandlungsprozess haben Medien hierbei schon immer eine bedeutende Rolle gespielt. Durch die Vermittlung von Informationen prägen die Medien maßgeblich die öffentliche Meinung. Darüber hinaus reflektieren und beeinflussen sie auch die politischen Diskurse und Entscheidungen. Mit der zunehmenden Diversifizierung der Medienlandschaft, insbesondere seit der Entwicklung des Internets, hat sich das Wesen der Informationsverarbeitung und Diskussion jedoch grundlegend gewandelt (Vgl. Krämer, 1998 [8], Ernst & Schröter, 2020 [9]). Heute informieren sich Menschen neben dem Radio, Zeitungen und öffentlich-rechtlichen Sendern

zunehmend auch über private Nachrichtenkanäle, Internetportale, sozialen Medien, etc. Die Vielzahl an Plattformen zur Informationsgewinnung ermöglicht hierbei zunächst einmal den Zugang zu einer breiten Vielfalt an Diskursen und trägt somit zur Meinungsbildung bei. Und auch wenn Diskurse von wirtschaftlichen Interessen oder persönlichen Vorurteilen geprägt sein können, ist das Erleben von Widerspruch und Streit in der Sache, für die eigene Lernfähigkeit essentiell und als Grundlage für eine funktionierende Demokratie unabdingbar.

Gleichzeitig führt die Zunahme an Informationen und die Komplexität einer fragmentierten Nachrichtenlandschaft zu Selektionsproblemen, die es dem Einzelnen erschweren, verlässliche Quellen zu identifizieren und objektiv zu bewerten. Früher nahmen traditionelle Medien wie Zeitungen oder das Angebot der öffentlich-rechtlichen durch ihre Recherche eine gewisse Gatekeeper-Funktion (Vgl. Daniljuk, 2016 [12]) ein. Sie selektierten welche Informationen als relevant betrachtet und wie diese dann der Öffentlichkeit präsentiert wurden. Die neue Medienlandschaft wird hierbei jedoch von anderen Prinzipien bestimmt. Heute bemisst sich die Relevanz von Nachrichten vielmehr anhand ihrer Aktualität und Klickzahlen (was sich etwa im Phänomen des Clickbaiting (Vgl. Rohringer, 2019 [13]) niederschlägt). Diese neue Medienrealität wirkt auch zunehmend auf den Journalismus innerhalb etablierter Medien zurück, was in der Folge zulasten der Berichtsqualität führen kann. Im Ergebnis erwächst hieraus ein allgemeiner Vertrauensverlust in die Medien (Vgl. WDR & Infratest dimap, 2023 [14]). Dieser Vertrauensverlust wird durch Verschwörungserzählungen oder die bewusste Verbreitung von Desinformationen, z.B. durch prominente Klimaleugner verstärkt. So hatte etwa Donald Trump 2012 behauptet, "dass es sich beim Klimawandel um eine Erfindung Chinas handele, um die Wettbewerbsfähigkeit der US-Industrie zu untergraben" (Vgl. Wong, 2016 [15]) oder die in den USA weit verbreitete Verschwörungstheorie rund um die Agenda 21 (einem 1992 in Rio de Janeiro beschlossenen Aktionsprogramm der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen (Vgl. Vereinte Nationen, 1992 [16])), insbesondere die darin vorgeschlagenen Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels, in Wirklichkeit der Errichtung eines sozialistischen Weltstaates dienten (Vgl. Schulte von Drach, 2012 [17])³. Hieraus resultiert eine zunehmende Polarisierung der Gesellschaft.

3 Solche Debatten finden auch in Deutschland statt: Siehe Stefan Aust »Klimawandel. Warten wir doch, bis der Klimahype abgeklungen ist« (Vgl. Aust, 2019 [10]). Oder: Im Compact- Magazin, in welchem die Klimawandelleugnerszene ausführlich zu Wort kommt, finden sich mit Wendungen wie "Uno- Kommunismus" ähnliche Argumentationsfiguren (vgl. COMPACT-Magazin, 2020 [11]).

1.4. Die Rolle der Wissenschaft

Diese vielfältigen und manchmal widersprüchlichen Informationen, führen zu komplexen dynamischen Interaktion zwischen Politik, Öffentlichkeit und den Medien. Da individuelles Wissen begrenzt ist, hängt die persönliche Beurteilung der Zuverlässigkeit von Informationen von der Glaubwürdigkeit der Quelle ab. Da die Wissenschaft nicht nur die grundlegenden Fakten zur Diskussion beiträgt, sondern im Vergleich zu den anderen Akteuren weithin als die objektivste Quelle wahrgenommen wird (vgl. Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V., 2022 [18]), kommt ihr bei der Bewertung, Kontextualisierung und Kommunikation klimarelevanter Informationen eine Schlüsselposition zu.

Die Herausforderung in der Kommunikation über den Klimawandel wird durch die stochastische Natur der Klimawissenschaften verstärkt. Deterministische Methoden anderer Wissenschaftszweige erscheinen im Vergleich weniger abstrakt, da direkte Wenn-Dann-Kausalitäten intuitiv leichter zu erfassen sind. Ursachen und Wirkungen des Klimawandels sind jedoch vielfältig und liegen zeitlich und räumlich oft so weit auseinander, dass sie im Rahmen persönlicher Erfahrungen schwer miteinander zu verknüpfen sind. Die Komplexität wissenschaftlicher Modelle, insbesondere im Rahmen der Klimaforschung, basieren somit zunehmend auf stochastischen Wahrscheinlichkeitsaussagen. In der Wahrnehmung der Öffentlichkeit können solche Wahrscheinlichkeitsaussagen leicht als Unsicherheit fehlinterpretiert werden, was das Verständnis und die Akzeptanz der wissenschaftlichen Befunde zum Klimawandel erschwert. Daher stellt der Umgang mit wissenschaftlicher Unsicherheit, besonders in der Kommunikation mit der Öffentlichkeit, eine besondere Herausforderung dar. Um Missverständnisse und Fehlinformationen zu vermeiden, bedarf es verständlicher Kommunikation. Hierbei ist die Betonung der objektiven und evidenzbasierten Grundlagen der Klimawissenschaft, trotz der vorhandenen Unsicherheiten, essenziell. Gleichzeitig ist es entscheidend, dass die Wissenschaftskommunikation die stochastische Natur der Klimawissenschaften erklärt und dabei die inhärente Unsicherheit wissenschaftlicher Erkenntnisse transparent macht, ohne dabei das Vertrauen in die Wissenschaft zu untergraben.

Insgesamt zeigt sich, dass der effektive Informationstransfer zwischen Wissenschaft, Medien und Öffentlichkeit eine grundlegende Voraussetzung dafür ist, ein fundiertes Verständnis für die Herausforderungen und notwendigen Maßnahmen im Kampf gegen den Klimawandel zu fördern. Nur durch ein starkes Vertrauensverhältnis und eine klare, verständliche Kommunikation können Missverständnisse überwunden und die Akzeptanz für wissenschaftliche Erkenntnisse und die darauf basierenden politischen Maßnahmen erhöht werden.

2. Konzept

Im Konzeptteil dieser Arbeit wird die Rolle von Medien und Kommunikationsstrategien in der Vermittlung von wissenschaftlichen Informationen untersucht, insbesondere im Kontext des Klimawandels. Hierbei wird der Einfluss von Selektionsmechanismen und Präsentationsformen auf die öffentliche Wahrnehmung und Interpretation von Daten beleuchtet. Es wird die Notwendigkeit betont, komplexe Daten verständlich und zugänglich zu machen, um ein breites Publikum zu erreichen und zu informieren. Die Bedeutung von Dashboards als interaktive und visuelle Werkzeuge zur Darstellung von komplexen Daten wird hervorgehoben, um die Wissenschaftskommunikation zu verbessern und das Verständnis für den Klimawandel zu vertiefen. Es wird ein Rahmen für die Entwicklung von Dashboards vorgeschlagen, der es ermöglichen soll, wissenschaftliche Daten und Zusammenhänge intuitiv erfahrbar zu machen und damit einen Beitrag zur Bildung und Sensibilisierung für den Klimawandel zu leisten.

2.1. Relevanz der Arbeit

Wie bereits im Vorwort angeschnitten, sind Medienberichte oft von subjektiven Deutungen und selektiver Verstärkung geprägt. Informationen werden hierbei nicht nur hinsichtlich individueller Vorlieben oder Interpretationsmustern einzelner Journalisten geprägt (Auswahl, Kontextualisierung, Präsentation, etc.), sondern auch durch kollektiv wirksame Konventionen des Journalismus (etwa durch journalistische Standards, durch die Bestimmung des "Nachrichtenwerts" (Vgl. Kepplinger, 1998 [21]), oder abhängig vom jeweiligen Format (Bericht, Kommentar etc.)). Durch diese Selektions- und Verstärkungsmuster setzen Medienberichte den Rahmen innerhalb öffentlicher Diskurse und erfüllen somit eine Gatekeeper-Funktion. Dies gilt grundsätzlich für alle Medien, kann aber je nach Medium spezifische Formen annehmen. Wie schon der berühmte Kommunikationstheoretiker Marshall McLuhan sagte: "The medium is the message." (Vgl. McLuhan & Fiore, 1967 [22]). McLuhan argumentierte, dass das Medium, durch das eine Botschaft übermittelt wird, einen entscheidenden Einfluss darauf hat, wie die Botschaft wahrgenommen wird. Dabei geht es nicht nur um den Inhalt der Botschaft, sondern auch um die Art und Weise, wie sie präsentiert wird und ganz grundlegend auch um die spezifischen Charakteristika, welche ein Medium mit sich bringt. Die Art und Weise, wie Nachrichten in Zeitungen, im Radio oder auf Twitter präsentiert werden, beeinflusst maßgeblich die Wahrnehmung und Interpretation der Botschaft durch das Publikum.

Besonders in Bezug auf Wissenschaftskommunikation und den Umgang mit Zahlen stellt sich die grundlegende Frage, nach welchen Kriterien Rezipienten die Glaubwürdigkeit spezifischer Medienangebote beurteilen. Rezipienten neigen dazu, Medienangebote als glaubwürdig zu bewerten, die eine ausgewogene Darstellung bieten, Quellen transparent angeben und komplexe Informationen verständlich aufbereiten (Vgl. Breuer, 2012, S. 101-112 [23]). Eine gewichtige Rolle hierbei spielen unter anderem Sozialpsychologische Aspekte wie persönliche Überzeugungen und Vorurteile. Menschen tendieren dazu, Informationen zu bevorzugen, die ihre Überzeugungen unterstreichen. So werden Aussagen welche mit diesen übereinstimmen in der Regel als plausibler wahrgenommen, als Aussagen, bei denen dies nicht der Fall ist. Durch diese Mechanismen der kognitiven Dissonanzreduktion (Vgl. Dohm et al., 2021 [24]), werden bereits gefestigte Meinungen zusätzlich verstärkt und gefestigt, während widersprechende Informationen abgewertet oder ignoriert werden (Confirmation Bias (Vgl. Evans, 2016 [25])). Zu diesem Zweck wird das verfügbare Informationsangebot entsprechend gefiltert; Menschen begeben sich in Filterblasen, welche sie hierbei als vertrauenswürdiger einschätzen (Echo Chambers (Vgl. Terren & Borge-Bravo, 2021 [26]))

Das beschriebene Phänomen hat große Relevanz für die Wissenschaftskommunikation. Denn die Art der wissenschaftlichen Kommunikation beeinflusst die öffentliche Wahrnehmung der Glaubwürdigkeit von Forschung. Insbesondere bei gesellschaftlich kontrovers verhandelten Themen, stehen selten nur noch unverrückbare Naturgesetze und deren Implikationen im Fokus, sondern die Analyse komplexer Phänomene, welche sich immer häufiger nicht mehr absolut, sondern zunehmend nur noch durch Wahrscheinlichkeiten ausdrücken lassen (Vgl. Grumman [27]). So wird etwa der Klimawandel durch eine Vielzahl von Variablen beeinflusst, was quantitative Berechnungen und Vorhersagen aufgrund mannigfaltiger und zum Teil noch unbekannten Einflussfaktoren erschwert. Daher stehen Wissenschaftler, welche komplexen Modelle auf Wahrscheinlichkeitsbasis verwenden vor dem Problem, ihre Ergebnisse transparent und Verständlich zu kommunizieren. Hierbei auftretende Mehrdeutigkeiten oder Unsicherheiten sind kein Ausdruck für die mangelnde Qualität der Forschung, sondern vielmehr Ausdruck der Nähe zu ihrem Beobachtungsgegenstand. Von vielen Menschen außerhalb des Wissenschaftsbetriebes können solche Mehrdeutigkeiten oder Unsicherheiten jedoch auch bewusst oder unbewusst als Schwäche oder Mangel in der wissenschaftlichen Forschung aufgefasst werden. Interessengeleitete Akteure können dies mitunter nutzen, um den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess infrage zu

stellen oder gar im Allgemeinen zu diskreditieren. Typische Taktiken reichen hierbei, vom sähen von Zweifeln bis hin zu schlichten Leugnungs- Strategien (Vgl. Oreskes & Conway, 2010 [28]).⁴

Daher sollte die Wissenschaftskommunikation die inhärenten Unsicherheiten vielmehr proaktiv thematisieren. Gestützt auf eine adäquate Vermittlung der angewandten Methodik, könnte dies auch erreicht werden, ohne dabei den Eindruck von Beliebigkeit zu hinterlassen. Um der Vielfalt und Pluralität von Wissen und gleichzeitig unterschiedlichen Perspektiven und Wertvorstellungen gerecht zu werden, bedarf es hierbei innovativer Werkzeuge. Es geht darum die Möglichkeiten neuer Medien in Lernplattformen zu bündeln, welche über die bloße Durchführung von Faktenchecks oder die trockene textbasierte Erläuterung wissenschaftlicher Arbeitsweisen und Methodiken hinausgehen. Plattformen, welche in der Lage sind, das zunehmend inter- und transdisziplinäre Wissen zu integrieren, um somit einen breiteren evidenzbasierten Diskurs ermöglichen, indem sie den Interpretationsspielraum von Forschungsergebnissen umfassend und tiefgründig beleuchten.

2.2. Problemstellung

Um der Informationsflut der heutigen Welt begegnen zu können, müssen Menschen die ihnen dargebotenen Informationen selektieren. Allerdings fällt es den Menschen zunehmend schwer, bei der Vielfalt an Informationsangeboten den Wert einzelner Informationen zu beurteilen. In der Konsequenz tendieren viele Menschen dazu, einen Großteil des Informationsangebotes zunächst schlichtweg zu ignorieren (Vgl. Arnold et al., 2023 [32]). Die schließlich wahrgenommenen Informationen, unterliegen darüber hinaus der persönlichen Interpretation, was die Komplexität der Informationsbewertung weiter erhöht. Die Herausforderung, Informationen effektiv zu filtern und zu bewerten, führt zu einer zunehmenden Notwendigkeit, Daten zugänglicher und verständlicher zu gestalten. Daher haben es sich verschiedenste Organisationen, von privaten Anbietern bis hin zu staatlichen Institutionen, zur Aufgabe gemacht Informationen zu sammeln und zu kategorisieren um daraus schließlich kuratierte Datensätze zu erstellen.⁵ Informationen stehen also heute vielfach, etwa in Form von öffentlichen zugänglichen Datensätzen, zur Verfügung. Aber viele dieser Datensätze liegen ohne weiteren Kontext, in komplizierten Formaten und zudem nur sehr verstreut

4 Prominente Beispiele liefern die ölverarbeitende Industrie (Vgl. Supran et al., 2023 [19]) oder die Tabaklobby (Vgl. DKFZ, 2023 [20]).

5 Etwa das statistische Bundesamt [29], UN Data [30] oder die Weltbank [31].

vor. Schließlich richten sich solche Datensätze primär an Fachpublikum und sind somit für die Allgemeinheit mitunter nur schwer zu interpretieren. Ohne Kenntnisse darüber, wie sich solche Rohdaten in aussagekräftigen Darstellungen, wie etwa Karten oder Diagramme, umwandeln lassen, gehen sie somit für die breitere Öffentlichkeit verloren.

Diese Problematik wird besonders deutlich, wenn es um die Wahrnehmung von Informationen zum Klimawandel geht. Menschen begreifen Ereignisse und Handlungen in der Regel in einem logischen, örtlichen und zeitlichen Rahmen. Dieses Verständnis ist hauptsächlich an die örtliche oder zeitliche Nähe zwischen Auslösern und deren Konsequenzen gebunden (Vgl. Ishikawa & Newcombe, 2021 [33]). Bei komplexen Zusammenhängen, wie sie der Klimawandel darstellt, sind solche Kausalzusammenhänge, wie wir sie aus unserer Alltagserfahrung kennen jedoch selten gegeben. Daraus resultiert, dass Wissensangebote zu komplexen Phänomenen wie dem Klimawandel oft als undurchsichtig und schwer nachvollziehbar empfunden werden.

Eine der Hauptschwierigkeiten in Wissenschaftskommunikation zum Klimawandel besteht also darin, Individuen zu vermitteln, wie sie persönlich in die komplexen, globalen Phänomene und größere Systeme eingebunden sind und welche Auswirkungen ihre Handlungen rückwirkend auf diese Systeme haben können (Vgl. Kellerman, 1989 [34]). Um diese komplexe Materie greifbarer zu machen, reicht es nicht, Informationen hierzu nur in Form von Zahlen und Statistiken darzubieten. Da Menschen von Natur aus eher zu räumlichem als zu abstraktem Denken neigen, bietet es sich vielmehr an, die Daten in Form von interaktiven, visuellen Darstellungen zu präsentieren (Vgl. Ishikawa & Newcombe, 2021 [35]). Die Open Source Gemeinschaft, hat frei verfügbare Bibliotheken, etwa zur Erstellung von Diagrammen oder anderen nützlichen Webtools entwickelt (Vgl. Unterkapitel: Wahl der ...), die es theoretisch jedem ermöglichen Daten in dieser Form zu verarbeiten (Vgl. Gonzalez-Barahona & Robles, 2013 [36]). Diese ermöglichen es, komplexe Zusammenhänge intuitiv erfassbar zu machen und dadurch die Bedeutung individueller Handlungen im Kontext des Klimawandels nachvollziehbarer zu gestalten.

2.3. Dashboards in der Wissenschaftskommunikation

Dashboards sind visuelle Darstellungen von Daten, die in kompakter und leicht verständlicher Form präsentiert werden. Der Begriff "Dashboard" leitet sich vom englischen Wort für das Armaturenbrett eines Autos ab. Dieser Vergleich zielt darauf ab, zu veranschaulichen, wie auf einem Dashboard bedarfsgerechte Informationen aus diversen Quellen übersichtlich und auf einen Blick dargestellt werden, ähnlich der Anzeige verschiedener Instrumente und Kontrollleuchten auf einem Fahrzeugarmaturenbrett (Vgl. Ketterman, o.J. [37]). Eine gebräuchliche Definition von Stephen Few lautet: „A dashboard is a visual display of the most important information needed to achieve one or more objectives; consolidated and arranged on a single screen so the information can be monitored at a glance.“ (Vgl. Few, 2003 [38]).

Dashboards dienen also dazu, Informationen aus verschiedenen Datenquellen oder Systemen zusammenzuführen und sie so auf einen Blick erfassbar zu machen. Gleichzeitig zeichnen sich Dashboards dadurch aus, dass die dargestellten Informationen interaktiv bearbeitet werden können. Diese Interaktivität, ermöglicht es den Anwendern mit den Daten zu interagieren, um so tiefere Einblicke in die präsentierten Datensätze zu erhalten. So können Anwender bestimmte Datensätze zur näheren Analyse auswählen um diese dann beispielsweise zeitlich, räumlich oder thematisch zu filtern und sie dann wiederum mit anderen Datensegmenten zu vergleichen. Die Möglichkeit zur Interaktion mit den Daten in Echtzeit erweitert das Nutzungsspektrum von Dashboards erheblich und macht sie zu einem nützlichen Instrument in den verschiedensten Bereichen, wie der Unternehmensführung, dem Finanzwesen, dem Journalismus, der öffentlichen Verwaltung, dem Gesundheitswesen, der Forschung oder in der Bildung. Die Einsatzmöglichkeiten reichen hier von der Überwachung von Geschäftsprozessen, der Aufarbeitung und Visualisierung von Statistiken, der Verfolgung von Krankheitsausbrüchen, der Darstellung und Analyse wissenschaftlicher Daten oder der Erläuterung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge. Diese Vielfältigkeit, macht sie im Kontext der Klimawissenschaften besonders nützlich, da sich gerade die Wissenschaftskommunikation in der Klimaforschung durch ihre Interdisziplinarität auszeichnet. Dashboards können hier eine ideale Schnittstelle zwischen den Umweltwissenschaften, der Informatik, der Soziologie und den Medienwissenschaften sein und somit eine Brücke zwischen den abstrakten Konzepten der Forschung und dem Alltag schlagen.

2.4. Konzeptuelle Ziele der Arbeit

Die Diskussion über die Relevanz von Medienberichten und die Einflüsse des Mediums auf die Wahrnehmung von Botschaften sowie die Herausforderungen in der Wissenschaftskommunikation verdeutlichen die Notwendigkeit, Informationen transparent und verständlich zu präsentieren, insbesondere in Bezug auf komplexe Themen wie den Klimawandel. Hierbei spielen nicht nur die Auswahl der Informationen und deren Präsentation eine Rolle, sondern auch individuelle Wahrnehmungsmuster und kognitive Verzerrungen, welche Einfluss darauf haben können, wie Informationen aufgenommen und verarbeitet werden. Um eine breite Akzeptanz und Handlungsbereitschaft zu erreichen und Informationen effektiv zu vermitteln, ist somit die Berücksichtigung der Zielgruppe und deren Vorkenntnisse wichtig. Zur Vermeidung von Missverständnissen, ist die Art und Weise, wie wissenschaftliche Daten und Erkenntnisse kommuniziert werden, entscheidend.

Die vorangegangenen Überlegungen bilden den Hintergrund für die Kernziele dieser Arbeit:

- Rohdaten in einer für die Allgemeinheit (Ohne Kenntnisse darüber wo sich gute globale statistische Daten finden oder wie man diese bewertet, bereinigt oder analysiert) in möglichst intuitiver Form aufzubereiten und zu visualisieren, um sie somit einer breiteren Öffentlichkeit intellektuell zugänglich zu machen.
- Durch Kontextualisierung eine Brücke zwischen den Daten und der alltäglichen Lebenswelt der Nutzer zu schlagen.
- Interaktionsmöglichkeiten dafür zu entwickeln, welche dem Nutzer diese Datensätze nicht bloß präsentieren, sondern sie darüber hinaus auch in die Lage dazu versetzen, diese durch selbstständige Bearbeitung 'erfahrbar' zu machen.
- Die Erfahrung hierbei möglichst intuitiv, vielfältig und spielerisch zu gestalten.
- Es soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, warum bestimmte Daten erhoben werden, wer sie sammelt und welche Beweggründe hinter der gewählten Form der Datenaufbereitung stehen. Ferner soll vermittelt werden, welche Einsichten aus der spezifischen Datenaufbereitung gewonnen werden können, um somit als Bildungsinstrument bezüglich einer Einführung in ausgewählte Methoden der Umwelt- und Datenwissenschaften zu dienen.
- Dies alles soll möglichst transparent geschehen, um Glaubwürdigkeit und Nachvollziehbarkeit zu erhöhen, kritisches Denken zu fördern und idealerweise dazu anzuregen selbstständig eigene Fragestellungen zu entwickeln und weiterführende Recherchen anzustellen.

- Die Zielgruppe wird bewusst weit definiert, um ein breitgefächertes und heterogenes Publikum anzusprechen. Ziel ist es, ein barrierefreies Instrument zu entwickeln, welches das Bewusstsein und das Verständnis für globale Herausforderungen, wie den Klimawandel, fördert.

Aus diesen Kernzielen erfolgen folgende grundlegende Implikationen für die Gestaltung der Dashboards:

1. **Visualisierungsstrategien:** Die Auswahl der Visualisierungsformate sollte darauf abzielen, komplexe Daten auf einfache und ansprechende Weise darzustellen, welche ohne spezialisiertes Wissen verständlich ist.
2. **Unterstützende kontextuelle Informationen:** Um die Verständlichkeit zu erhöhen, sollten Daten und Visualisierungen durch erläuternde Texte, und Links zu weiterführenden Informationen ergänzt werden.
3. **Intuitive Benutzeroberfläche:** Das Dashboard muss eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche bieten, die von Nutzern ohne technischen Hintergrund leicht bedient werden kann.
4. **Anpassung an Bildungskontexte:** Die Inhalte und Funktionen des Dashboards sollten so gestaltet sein, dass sie im Rahmen von Schulunterricht und Bildungsprogrammen eingesetzt werden können, um kritische Denkfähigkeiten und Medienkompetenz zu fördern.
5. **Sensibilisierung für den Klimawandel:** Auswahl von Dashboardthemen, die das Publikum ansprechen und durch den Fokus auf bereits bekannte und in den Medien diskutierte Aspekte des Klimawandels greifbar machen.

3. Methodik

Im Kapitel Methodik werden die Leitlinien für die Entwicklung des Dashboards gelegt. Um ein Verständnis für die Vielfalt an Design- und Funktionsansätzen zu entwickeln, wurde zunächst eine explorativen Analyse bestehender Dashboard-Lösungen vorgenommen. Diese Analyse diente als Ausgangspunkt zur Identifizierung typischer Ansätze bei der Realisierung von Dashboards. Um die hierbei gewonnen Inspirationen einzuordnen, wurden mit der Wahl eines theoretischen Rahmens, konzeptuelle Schwerpunkte gesetzt, auf dessen Grundlage Kriterien für die Implementation erstellt wurden.

3.1. Vergleichsanalyse von Dashboard-Lösungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde zunächst eine explorative Analyse von Dashboard-Lösungen verschiedener Anbieter durchgeführt, mit dem Ziel, ein breites Spektrum an Design- und Funktionsansätzen zu erfassen. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Analyse nicht den Anspruch einer tiefgreifenden Evaluation erhebt. Die Auswahl und Kritik einzelner Dashboards folgt keinem umfassenden Bewertungsschema, sondern zielt darauf ab, spezifische Merkmale und Ansätze zu identifizieren, welche bei der Entwicklung der eigenen Lösung dienlich sein können.

Hierbei hat die Analyse von Dashboard-Lösungen verschiedener Anbieter aufgezeigt, dass die Gestaltung und Umsetzung von Dashboards, je nach Zielgruppe und Zweck, stark variieren kann. Die Betrachtung erstreckte sich dabei über institutionelle Anbieter, NGOs bis hin zu privaten Unternehmen, wobei jeweils unterschiedliche Schwerpunkte in Design, Interaktivität und Inhalt festgestellt wurden.

Institutionelle Dashboards, wie die von Ländern oder Kommunen, welche im Rahmen ihrer Transparenz- und Informationspflichten veröffentlichen (Vgl. Bundesministerium des Innern und für Heimat, o.D. [39]), zeichnen sich generell durch ein hohes Maß an Daten-Transparenz und Qualität aus. Basierend auf ihrer Gestaltung, lässt sich das umfangreiche Dashboard-Angebot hierbei grob in zwei Kategorien einteilen. Auf der einen Seite stehen Dashboards, welche durch zugängliche Designs, den verstärkten Einsatz von Infografiken und begleitenden Erläuterungen charakterisiert sind. Die Gestaltung dieser Dashboards konzentriert sich auf die Vermittlung von

Informationen in einer Weise, welche keine spezifischen Vorkenntnisse voraussetzt und sind somit in der Regel auf ein breiteres Publikum ausgerichtet (Vgl. Stadt Münster, 2024 [40]). Auf der anderen Seite finden sich Dashboards, die einen stärkeren Fokus auf die Bereitstellung und Bearbeitbarkeit ihrer Datenbasis legen. Durch eine breitere Palette an Auswahl- und Vergleichsinstrumenten ermöglichen sie eine tiefgehendere Analyse und Interaktion mit den präsentierten Daten. Solche Dashboards können somit als Instrumente der deliberativen Bürgerbeteiligung oder als Informationstools für Entscheidungsträger dienen (Vgl. Umweltbundesamt, 2024 [41]).

Im Bereich von nicht öffentlichen Dashboard-Anbietern gibt es weites Spektrum an Angeboten, welche hinsichtlich ihrer Transparenz und Qualität stark variieren können. Hinter den professionelleren Angeboten stehen häufig Teams von Spezialisten verschiedener Disziplinen. Dies spiegelt sich in grundlegenden Unterschieden hinsichtlich ihrer jeweiligen thematischen Schwerpunktsetzung (etwa sozialer (Vgl. Klimadashboard.de [42]) oder ökonomischer (Vgl. how-green-works.de [43]) Perspektive), der jeweiligen Präsentation (Schwerpunkt auf Design und Storytelling (Vgl. visualcapitalist.com [44]) oder auf Praktikabilität und Interaktivität (Vgl. klimadashboard.danielgerber.eu [45]), sowie mannigfaltigen anderen designspezifischen Entscheidungen wieder. Aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen ist eine generelle Bewertung der verschiedenen Plattformen daher schwierig. Es konnten jedoch einige Inspirationen gewonnen, und Praktiken identifiziert werden, welche bei der Entwicklung von Dashboards als Orientierung dienen können:

- Neben der Transparentmachung der Datengrundlage, wäre es wünschenswert, diese für den Anwender auch direkt über das Dashboard bzw. links zum Anbieter verfügbar zu machen.
- Zur Förderung der Glaubwürdigkeit und um dem Verdacht von Interessenkonflikten vorzubeugen, sollte unbedingt darüber informiert werden, was der Zweck des Dashboards ist und in welchem Auftrag dieses entwickelt wurde (etwa über ein Impressum oder sonstigem Verweis)
- Im Zentrum der Anwendung sollten die jeweiligen Widgets stehen.⁶ Darüber hinaus gilt es eine ausgewogene Balance zwischen dem Raum für die Widgets und dem Raum für zusätzlich

⁶ In dieser Arbeit bezeichnet der Begriff 'Widget' die kleinste sinnlogisch zusammenhängende funktionelle Einheit innerhalb des Dashboarddesigns, welche im Zentrum der jeweils ausgewählten Dashboardansicht steht.

bereitgestellte Kontextinformationen zu finden. Es ist darauf zu achten, den Nutzer nicht mit zusätzlichen Informationen zu überfluten oder durch zu viele Datenansichten, Interaktionselementen oder Auswahlmasken zu überfordern (Vgl. worldview.earthdata.nasa.gov [46]).⁷

- Ein Beispiel für gut strukturierte Informationsaufbereitung und hochwertige interaktive Visualisierung bieten die Themen-Dashboards von Our World in Data (Vgl. Our World in Data [47]). Gleichzeitig können diese für ein breiteres, weniger akademisch geprägtes Publikum evtl. schwieriger zu verstehen sein, da sie komplexe Daten und Zusammenhänge auf eine Weise präsentieren, die spezifisches Vorwissen erfordern könnte.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es bei der Entwicklung von Dashboards keine 'Patentlösung' gibt und diese daher stark von individuellen Zielsetzungen und den gesetzten Schwerpunkten abhängt. Daher ist es sinnvoll zunächst die Zielsetzung anhand eines methodischen Schwerpunktes zu entwickeln.

3.1.1 Theoretischer Rahmen und konzeptionelle Schwerpunkte

Als zentraler theoretischer Rahmen dieser Arbeit wurde hierzu Bret Victors Konzept der "Explorable Explanations" (Vgl. Victor, 2011 [48]) gewählt. Im Gegensatz zu Büchern und oder Websites, welche nur bedingt Möglichkeiten zur Interaktion oder zur Überprüfung von Informationen bieten, plädiert Victor dafür, Leser aktiver und interaktiver in die Texte einzubinden. Die Idee grundlegende Idee hierbei ist, dass Text nicht nur der bloßen Konsumierung von Informationen dienen sollte. Darüber hinaus sollte Text auch so konzipiert sein, dass er zum selbstständigen und aktivem mit-Denken einlädt. Laut Victor, stellt ein aktiver Leser Fragen und zieht Alternativen in Betracht. Dies, so betont und begrüßt Victor ausdrücklich, schließt ebenfalls ein, dass ein aktiver Leser auch die Annahmen sowie die Vertrauenswürdigkeit des Autors selbst infrage stellt. Deswegen sollten Autoren größeren Wert auf Transparenz legen, etwa indem sie ihre Modelle und Daten offenlegen. Hierdurch wird es dem Leser möglich, sich kritisch mit den gegebenen Informationen und der Argumentation auseinanderzusetzen. Durch aktives Experimentieren und Hinterfragen erlangt der Leser schließlich nicht nur ein tieferes Verständnis

⁷ NASA Worldview bietet einen umfassenden strukturierten Zugang zu Satellitendaten und -bildern. Die Bedienung kann jedoch für unerfahrene Benutzer aufgrund der komplexen Eingabemasken ggf. herausfordernd sein.

für das dargebotene, sondern auch eine bessere Vorstellung vom jeweiligen Kontext sowie der Bedeutung der Information.

Das Konzept der "Explorable Explanations" konzentriert sich hierfür auf drei Hauptaspekte:

1. "Reaktive Dokumente" ermöglichen es dem Leser, mit den Annahmen und Analysen des Autors zu spielen und dabei direkt die Konsequenzen zu sehen. Der Leser kann somit alternative Szenarien erforschen und ein tieferes Verständnis entwickeln (Ebd. Abschnitt "Reactive Document").
2. "Explorable Examples" machen abstrakte Konzepte greifbarer und ermöglichen es dem Leser, ein besseres Verständnis für komplexe Systeme zu entwickeln, indem sie mit einzelnen Parametern experimentieren oder diese in Bezug zueinander setzen können. (Ebd. Abschnitt "Explorable Examples").
3. "Kontextinformationen" erlauben es dem Leser noch während der Lektüre auf relevante Informationen zuzugreifen und somit die Behauptungen des Autors zu überprüfen. (Ebd. Abschnitt "Contextual Information").

Insbesondere in wissenschaftlichen und technologischen Bereichen können die Konzepte der "Explorable Explanations" einen grundlegenden Orientierungsrahmen für die Entwicklung interaktiver Dashboards bieten.⁸ Aus der Setzung des Theoretischen Rahmens ergaben sich grundlegende Schwerpunkte hinsichtlich der Auswahl und Bewertung der:

- a) Datenquellen
- b) Kontextinformationen
- c) Design Patterns

Die hierzu entwickelten Kriterien finden sich in den folgenden Unterkapiteln.

⁸ Praktische Beispiele der Umsetzung von "Explorable Explanations" finden sich auf der Webseite "Ten Brighter Ideas? An Explorable Explanation" (Vgl. worrydream.com/TenBrighterIdeas/ [49]). "What can a technologist do about climate change? A personal view" (Vgl. worrydream.com [50]) führt die theoretischen Grundlagen hierzu weiter aus.

3.2. Kriterien für die Entwicklung des Dashboards

In den folgenden Abschnitten werden die Kriterien für die Entwicklung des Dashboards fokussiert. Beginnend mit der Auswahl und Bewertung der Datenquellen, welche aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für aussagekräftige Visualisierungen eine Schlüsselrolle einnehmen. Die Integrität, Transparenz und wissenschaftliche Fundierung der Daten bilden dabei das Fundament für das Vertrauen der Nutzer in die präsentierten Informationen.

Zusätzlich zu den Kriterien für Datenquellen, werden Leitlinien für die Integration von Kontextinformationen festgelegt. Diese zielen darauf ab, ein kohärentes und nutzerfreundliches Informationsangebot zu schaffen, indem sie Relevanz, Aktualität, Verständlichkeit und eine ausgewogene Darstellung der Thematik sicherstellen.

Ergänzt werden diese durch Überlegungen zur Gestaltung und Implementierung von interaktiven Elementen im Dashboard. Der Fokus liegt darauf, die Nutzer zur aktiven Auseinandersetzung mit den Daten zu ermutigen und ein tiefes Verständnis der dargestellten Themen zu fördern.

3.2.1 Kriterien für die Auswahl und Bewertung der Datenquellen

Da sie das Fundament für aussagekräftige Darstellungen bilden, nimmt die Auswahl der genutzten Daten bei der Entwicklung der Dashboards eine zentrale Stellung ein. Gerade bei einem gesellschaftlich kontrovers diskutiertem Thema wie dem Klimawandel, kommt ihnen hierbei hinsichtlich ihrer Integrität, Transparenz und wissenschaftlicher Fundierung eine besondere Bedeutung zu und legt somit das Fundament, auf dem schließlich das Vertrauen der Nutzer in die präsentierten Informationen fußt.

Leider werden in öffentlichen Debatten oft unterschiedliche Zahlen aus verschiedenen Quellen zitiert, die anschließend an den eigenen Kontext angepasst und nicht weiter hinterfragt werden. Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass hier 'falsche' Zahlen verwendet wurden. Vielmehr können die Diskrepanzen auf unterschiedliche Methoden, z.B. bei der Datenerhebung zurückgeführt werden. Die Entwicklung globaler CO₂-Emissionsschätzungen beispielsweise, hat seit 1894 zwar erhebliche Fortschritte gemacht, doch trotz verbesserter Methoden und zahlreicher Datensätze bestehen weiterhin signifikante Unterschiede zwischen den Schätzungen, hauptsächlich aufgrund unterschiedlich gesetzter Systemgrenzen (Vgl. Andrew, 2020 [52]). Beim Rezipienten können hierdurch Verwirrung und Zweifel an der Verlässlichkeit der präsentierten Daten entstehen.

Die Transparenz der gewählten Datenquellen sowie ihrer Methodik ist daher entscheidend, um die Nachvollziehbarkeit und Glaubwürdigkeit der präsentierten Informationen zu gewährleisten. Hierzu sollte die Quelle sowie die Methodik ihrer Datenerhebung (etwa Informationen über ihre Sammlung, Analyse, Weiterverarbeitung sowie mögliche Einschränkungen der Datensätze) gewährleistet und nachprüfbar sein. Bei der Identifizierung infrage kommender Datenquellen sollten demnach renommierten wissenschaftlichen Institutionen oder Organisationen mit spezialisierten und gut kuratierten Umwelt- bzw. Klimadatenbanken Vorrang gegenüber Datenquellen von Drittanbietern, welche diesen Anforderungen nicht genügen, eingeräumt werden.⁹

Um Interpretationen, welche bereits durch die eigene Datenaufbereitung in einer frühen Phase der Prozessierung einfließen können zu vermeiden, sollten hierbei Primärdaten (soweit Verfügbar) priorisiert werden. Schließlich müssen die Daten für die spezifische Aufgabenstellung dieser Arbeit (Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt, Böden und Vegetation) praktisch relevant (Der Gegenstand der Betrachtung impliziert hierbei Datensätze mit zeitlichen sowie räumlichen Bezug) sein und gewissen Lizenz-Kriterien¹⁰ entsprechen.

Daten aus verschiedenen Quellen weisen häufig unterschiedliche Datenformate und Maßeinheiten auf. Um Konsistenz und Vergleichbarkeit zur Integration bestimmter Datensätze zu gewährleisten, müssen diese also zunächst aufbereitet und Standardisiert werden. Dies umfasst unter anderem deren Anpassung hin zu einheitlichen Datenformaten (etwa der Angleichung von Länder- und Regionsnamen nach bestimmten Schlüssen, der Entwicklung von Funktionen zur Übersetzung und Handhabung unterschiedlicher Zeichencodierungen, Umrechnungen und zahlreichen anderen Datenmanipulationen). Um eine möglichst effektive und nachvollziehbare Datenintegration zu ermöglichen, soll hierzu ein generalisiertes System zur Datenaufbereitung entwickelt werden.

9 Beispielhaft seien hier die Qualitativ hochwertig kuratierten Datensätze von Our World in Data genannt (Vgl. Ritchie, 2022 [51]).

10 Die Datenquellen mussten kostenlos und unter Lizenzen verfügbar sein, welche Modifikationen gestatteten, um eine Anpassung an die Forschungsziele zu ermöglichen. Bevorzugt waren daher offene Lizenzen wie Creative Commons (CC), die kostenfreie Nutzung und Bearbeitung erlauben.

3.2.2 Leitlinien für die Integration der Kontextinformationen

Das zu entwickelnde Dashboard musste eine Vielzahl an Widgets zu verschiedenen Umweltthemen umfassen, wobei die Einflüsse des Klimawandels auf Wasserhaushalt, Böden und Vegetation im Vordergrund standen. Angesichts der Komplexität und Vielfältigkeit der Themen war anzunehmen, dass das Informationsangebot entsprechend variieren würde. Um trotz der thematischen Vielfalt eine kohärente und nutzerfreundliche Erfahrung zu gewährleisten, wurden folgende Leitlinien für die Auswahl und Bewertung der Kontextinformationen aufgestellt:

1. **Relevanz und Aktualität:** Die bereitgestellten Kontextinformationen müssen direkt relevant für das jeweilige Thema des Widgets sein und aktuelle Daten und Erkenntnisse widerspiegeln, um ein zeitgemäßes Verständnis der dargestellten Problematiken zu fördern.
2. **Quellentransparenz:** Um die Nachvollziehbarkeit und Glaubwürdigkeit der Widgets zu gewährleisten, muss die Herkunft der Datengrundlage klar gekennzeichnet sein (etwa durch die Angabe der Daten-Quellen und zusätzlich Informationen zu den Datenanbietern).
3. **Verständlichkeit:** Die Informationen sollten in einer klaren, zugänglichen Sprache präsentiert werden, die auch für Nutzer ohne spezifisches Vorwissen verständlich ist. Fachjargon sollte vermieden oder, wenn notwendig, erläutert werden.
4. **Interaktivität und Explorierbarkeit:** Soweit möglich, sollten Kontextinformationen interaktiv gestaltet sein, um Nutzern die Möglichkeit zu geben, Inhalte selbst zu erkunden und ein tieferes Verständnis der Thematik zu entwickeln. Dies kann durch interaktive Grafiken, erweiterbare Textabschnitte oder Verweise auf weiterführende Ressourcen realisiert werden.
5. **Vielfalt und Ausgewogenheit:** Die ausgewählten Informationen sollten eine Bandbreite an Perspektiven und Ansätzen berücksichtigen, um eine ausgewogene Sicht auf die Thematik zu fördern. Dies hilft, einseitige Darstellungen zu vermeiden und fördert ein umfassenderes Verständnis der komplexen Zusammenhänge.
6. **Integration in das Gesamtdesign:** Kontextinformationen sollten nahtlos in das Gesamtdesign des Dashboards eingebettet sein, um eine konsistente und störungsfreie Nutzererfahrung zu gewährleisten. Die Gestaltung sollte die Lesbarkeit und Zugänglichkeit der Informationen unterstützen, ohne von den Hauptfunktionen des Dashboards abzulenken.

3.2.3 Designprinzipien für benutzerzentrierte Dashboards

Die Gestaltung der Dashboards zielte darauf ab, ein möglichst breites Publikum anzusprechen und orientierte sich daher an Prinzipien des nutzerorientierten User Interface Designs (Vgl. Stone et al., 2005 [53]). Eine zentrale Rolle bei der Förderung eines intuitiven Verständnisses komplexer Zusammenhänge spielt die Visualisierung der Daten. Um jedoch ein Interface zu schaffen, das auch für Laien leicht zugänglich ist, sind darüber hinaus weitere Aspekte entscheidend. Dazu gehören unter anderem ein intuitives Design, benutzerfreundliche Navigations- und Bedienmöglichkeiten sowie die Bereitstellung von Begleitinformationen.

Im Kontext der Entwicklung von Dashboards, die komplexe Daten und Informationen, insbesondere zu globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel, für ein breites Publikum zugänglich machen, bietet Stephen Fews Buch "Information Dashboard Design" (Vgl. Few, 2006 [55]), eine Vielzahl an Gestaltungsprinzipien und -methoden.¹¹

Fews Arbeit hebt hervor, wie entscheidend eine sorgfältige Gestaltung für die Wirksamkeit von Dashboards ist. Er argumentiert, dass viele Dashboards ihr Potenzial nicht aufgrund technologischer Mängel nicht ausschöpfen, sondern vielmehr aufgrund schlechter visueller Gestaltung. Um ihre Ziele zu erreichen und ihr Potenzial voll auszuschöpfen, müssen Dashboards eine dichte Informationsmenge auf kleinem Raum in einer Weise darstellen, die klar und sofort verständlich ist. Das Buch bietet hierzu konkrete Beispiele, Richtlinien und Best Practices für die Gestaltung von Dashboards, einschließlich der Auswahl bewährter Designmuster, welche eine konsistente und rasche Entwicklung effektiver und benutzerfreundlicher Dashboards unterstützen. Diese Muster richten sich an spezifische Herausforderungen in der Dashboard-Gestaltung, wie die Darstellung komplexer Daten in einer leicht verständlichen Weise oder die Förderung der Benutzerinteraktion anhand von bewährten Strategien hinsichtlich der Präsentation von Informationen sowie entsprechenden spezifischen Interaktionsmöglichkeiten. Da es sich bei der dieser Untersuchung um eine grundsätzliche Machbarkeitsstudie handelt, wurde bei der Implementierung des Dashboards mit einer möglichst breiten Palette an Designmustern experimentiert.

11 Eine gute Übersicht hierzu bietet auch die Website dashboarddesignpatterns.github.io [54]

4. Implementation

Das Konzept diene als Grundlage für die Ausarbeitung einer methodischen Herangehensweise, welche wiederum essenzielle Spezifikationen für technologische Entscheidungen, Projektstruktur sowie Datenmanagement und -verarbeitung setze. All diese Faktoren bilden letztlich das Fundament für die Auswahl und die endgültige Umsetzung der einzelnen Anwendungen (Widgets) des Dashboards. Das vorliegende Kapitel beleuchtet die Umsetzung dieser theoretischen Grundlagen in praktische Lösungen.

Im Zentrum stehen dabei zunächst grundlegende technologische Entscheidungen wie die Auswahl der Programmiersprache und der Einsatz spezifischer Plattformen oder Frameworks. Im Anschluss wird die strukturelle Organisation des Projekts erläutert. Besonderer Fokus lag hierbei auf einem modularen Entwicklungsansatz, welcher sich von der Datenaufbereitung bis hin zur Implementierung spezifischer Layout-Codes erstreckt. Dieser erleichtert nicht nur die Wartung, sondern fördert auch die Wiederverwendbarkeit einzelner Codeteile und gewährleistet eine klare Funktionstrennung innerhalb des Projekts. Eine solide Datengrundlage ist essenziell für die Erstellung aussagekräftiger und interaktiver Visualisierungen. Die Auswahl, Aufbereitung und Analyse der Daten bilden hierfür das Fundament und werden daher im weiteren Verlauf des Kapitels eingehend dargelegt.

Schließlich werden Layout und Designentscheidungen begründet sowie ein Überblick über die verwendeten Widget Komponenten gegeben.

Für eine tiefergehende Einsicht in die technischen Aspekte und den Entwicklungsprozess dieses Projekts, einschließlich des Codes und der verwendeten Technologien, verweise ich auf das GitHub-Repository des Projektes, welches unter der Adresse https://github.com/Neon-Purplelight/klima_kompass_navigator zu finden ist. Hier finden sich weitere Details zu den Implementierungen und zur Struktur der Dashboard-Anwendungen (Widgets), die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden.

4.1. Technologische Entscheidungen

Im folgenden Abschnitt werden die Auswahlkriterien für die verwendeten Technologien dargelegt, die Programmiersprache bestimmt und das passende Framework für die Erstellung des Dashboards ausgewählt. Es wird erörtert, wie diese Entscheidungen die Leistungsfähigkeit und Zukunftssicherheit der Anwendung beeinflussen.

4.1.1 Auswahlkriterien

Die Wahl der genutzten Werkzeuge hat weitreichende Auswirkungen auf die Performance der Endanwendung sowie deren zukünftige Anpassungsfähigkeit. Mit der fortschreitenden Digitalisierung werden geografische Informationssysteme (GIS), sei es für die Kartierung, Analyse oder Visualisierung von Daten, zunehmend wichtiger. Dementsprechend werden ständig neue Tools entwickelt, welche GIS Anwendungen leistungsfähiger, vielseitiger oder benutzerfreundlicher machen (Vgl. Wade & Sommer, 2006 [68]). Dies hat zu einer großen Vielfalt an Optionen, mit unterschiedlichsten Schwerpunkten und spezifischen Vor- und Nachteilen, geführt.¹² Diese Vielfalt stellt Entwickler vor eine herausfordernde Auswahl. Zur besseren Orientierung ist es daher sinnvoll, zunächst Projektspezifikationen hinsichtlich der Anforderungen und den Erwartungen an das zu entwickelnde Dashboards zu definieren, welche dann als Grundlage für eine gezieltere Auswahl dienen können. In diesem Kontext wurden für die Auswahl vier zentrale Schwerpunkte definiert:

1. **Kosteneffizienz:**

Um Kosten zu vermeiden, sollte das Dashboard unter Verwendung von Open-Source-Technologien entwickelt werden. Die genutzten Werkzeuge und Bibliotheken sollten nach Möglichkeit ohne Lizenzgebühren nutzbar sein. Dies ermöglicht nicht nur eine kostenfreie Entwicklung des Dashboards, sondern gewährleistet darüber hinaus auch eine längerfristige Wirtschaftlichkeit und den Zugang zu einer breiten Community für Support, Updates und sonstige Weiterentwicklungen.

12 Etwa spezialisierten GIS-Plattformen (wie ArcGIS online [56] oder Esri Story Maps [57]), Webbasierten Mapping-Plattformen (wie Mapbox [58] oder Carto [59]), All-in-One- Dashboard- Plattformen (wie Tableau [60] oder Power BI [61]), Programmierbaren GIS- Dashboards (JavaScript- basierte Bibliotheken wie Leaflet [62] oder Mapbox GL JS [63]), Open- Source- GIS- Plattformen (wie QGIS Web Client [64] oder GeoServer [65]) oder programmierbaren Dashboards (wie Shiny [66] oder Plotly Dash [67]).

2. **Erweiterbarkeit, Skalierbarkeit und Wartbarkeit:** Das Dashboard sollte so konzipiert sein, dass es mit minimalem Aufwand gewartet und um neue Funktionen erweitert werden kann. Es sollte zudem skalierbar sein um ggf. an steigende Nutzerzahlen oder Datenmengen angepasst werden zu können. Dies umfasst vor allen Dingen eine modulare Architektur, welche es ermöglicht, einzelne Komponenten bei Bedarf hinzuzufügen, auszutauschen oder zu aktualisieren, ohne hierbei die bestehende Funktionalität zu beeinträchtigen.
3. **Mächtigkeit in Datenverarbeitung, Visualisierung und Interaktivität:** Das Dashboard muss in der Lage sein, gleichzeitig große Datenmengen effizient zu verarbeiten, komplexe Visualisierungen zu erstellen und diese um interaktive Funktionalitäten in Echtzeit zu erweitern.
4. **Web Deployment:** Schließlich sollte das Dashboard als leicht zugängliche, plattformunabhängige Webanwendung konzipiert sein. Nutzer sollten über alle gängigen Webbrowser darauf zugreifen können, ohne hierfür spezielle Software installieren zu müssen.

4.1.2 Wahl der Programmiersprache

Den basalsten Grundstein hinsichtlich der Auswahl aller weiteren Werkzeuge und Technologien stellt die Entscheidung für die verwendete Programmiersprache dar. Die Wahl fiel hierbei auf Python [69]. Python genießt vor allen Dingen aufgrund seiner umfangreichen Bibliotheken, insbesondere auch im Bereich von webbasierten GIS Anwendungen (Vgl. Python OS Ecosystem for GIS and Earth Observation [70]), und seine einfache Syntax eine breite Akzeptanz innerhalb der Entwicklergemeinde.

Python ist eine freie Open-Source-Programmier Sprache mit einer großen und aktiven Community, welche die Sprache fortlaufend verbessert, indem Sie neue Funktionen sowie eine Vielzahl von Bibliotheken und Frameworks für verschiedene Anwendungsfälle entwickelt. Seine Vielseitigkeit ermöglicht die Entwicklung über ein breites Spektrum der unterschiedlichsten Anwendungen von Web- und Desktopanwendungen bis hin zu komplexen datenanalytischen Projekten. Die eingängige und verständliche Syntax ermöglicht, die schnelle Entwicklung von Prototypen, was insbesondere hinsichtlich von sich im Laufe des Projektes veränderten Konzeptannahmen oder dessen spätere Anpassbarkeit erleichtern.

Für ein Dashboard, das neben der Verarbeitung und Visualisierung unterschiedlichster Datensätze und Formate, einschließlich geografischer Informationen, bietet Python eine reiche Auswahl an

spezialisierten Bibliotheken¹³. Die wichtigsten darunter sind Pandas [71] für Datenmanipulation und -analyse, NumPy [72] für numerische Berechnungen und Matplotlib [73] sowie Plotly [74] für Datenvisualisierung. Im Bereich von GIS und räumliche Datenanalyse sind hierbei insbesondere Bibliotheken wie [75], welches auf Pandas aufbaut oder Shapely [76], welches Werkzeuge für geometrische Operationen zur Verfügung stellt, hervorzuheben.

Schließlich bietet Python durch eine Vielzahl an Frameworks wie Django [77], Flask [78] oder FastAPI [79] umfassende Unterstützung für die Webentwicklung. Die Frameworks basieren hierbei auf unterschiedlichen Ansätze und bieten jeweils verschiedene Funktionen, welche die Entwicklung von einfachen, leichtgewichtigen Lösungen bis hin zu vollständigen und hochgradig skalierbaren Online-Anwendungen ermöglichen.

Zusammenfassend spiegeln diese Charakteristiken die Projektanforderungen hinsichtlich von Kosteneffizienz, Erweiterbarkeit, Skalierbarkeit, Wartbarkeit sowie der leistungsstarken Datenverarbeitung, Visualisierung und Interaktivität bei Unterstützung von Webentwicklung vollumfänglich wieder.

4.1.3 Wahl des Frameworks

Die Entwicklung von interaktiven Dashboards, insbesondere im Bereich der geografischen Informationssysteme (GIS), kann eine komplexe Aufgabe sein. Für die Entwicklung von Frontend, Backend, Datenvisualisierung und interaktiver Benutzerfunktionen steht erneut ein breites Spektrum an Optionen für die jeweiligen Schlüsselfunktionen zur Verfügung. Traditionell erfordert dies die Auswahl und Integration mehrerer spezialisierter Bibliotheken und Frameworks. So könnte beispielhaft React [80] oder Angular [81] für das Frontend, Django oder ExpressJS [82] für das Backend, Leaflet oder OpenLayers [83] für die Kartenvisualisierung und D3.js [84] oder Highcharts [85] für weitere Datenvisualisierungen verwendet werden. Jede dieser Technologien erfordert spezifisches Wissen und Erfahrung, was zum einen den Entwicklungsprozess verlangsamen kann und zum anderen die allgemeine Komplexität des Projekts steigert. Eine Möglichkeit zur Komplexitätsreduktion bieten hierbei Frameworklösungen. Auch hier gibt es eine breite Auswahl an zur Verfügung stehenden Frameworks (zu den prominenteren zählen hierzu Plotly Dash, Shiny, Streamlit [86] oder Bokeh [87]).

13 Eine Übersicht über die schließlich verwendeten Bibliotheken findet sich im Anhang unter [Verwendete Bibliotheken](#).

4.1.3.1 Grundlegende Architektur von Dash

Im Zuge dieser Arbeit fiel die Wahl auf Plotly Dash. Dash ist ein Open-Source-Framework zum Erstellen von Datenvisualisierungsschnittstellen. Es ist unter der MIT-Lizenz (Vgl. Open Source Initiative [89]) veröffentlicht und somit kostenlos.¹⁴ Ein entscheidender Vorteil von Dash liegt in seiner Fähigkeit, komplexe Datenvisualisierungen und interaktive Benutzeroberflächen direkt in Python zu erstellen, ohne dass umfangreiche Kenntnisse in JavaScript oder anderen Frontend-Technologien erforderlich sind.

Im Kern basiert Dash auf drei Technologien:¹⁵

1. **Flask:**

Flask ist ein leichtgewichtiges Web Server Gateway Interface (WSGI)-Webanwendungsframework [91] für Python und stellt grundlegende Webserver-Funktionalitäten für das Backend bereit. Der Flask-Entwicklungsserver ist dafür konzipiert, direkt aus einem Python Script heraus betrieben zu werden. Hierzu blockiert er zur Laufzeit des Servers standardmäßig den Haupt-Thread des Python Scripts. Diese Blockierung ermöglicht es dem Server, Änderungen an den Python-Dateien, die die Anwendung definieren, zu überwachen und die Anwendung automatisch neu zu laden, sobald Änderungen (etwa durch Nutzereingaben) erkannt werden.

2. **React.js:**

React.js ist eine deklarative JavaScript-Bibliothek zur Erstellung und Rendern (d.h. die Umwandlung von React-Komponenten in HTML, welches dann im Browser dargestellt wird) der frontend-Benutzeroberflächen. Sie ermöglicht Entwicklern, komplexe Benutzeroberflächen aus wiederverwendbaren Komponenten zu konstruieren, wobei der Schwerpunkt auf der Erstellung von interaktiven, Zustands-behafteten Anwendungen liegt.

3. **Plotly.js:**

¹⁴ Es gibt mit Plotly Dash Enterprise [88] noch eine kostenpflichtige Version, welche neben Support und Wartungsdiensten noch einige erweiterte Funktionen aufweist. Diese richten sich allerdings primär an Organisationen. Die gratis Distribution enthält alle wichtigen und grundlegenden Funktionen, welche zum Erstellen der Dashboards nötig sind.

¹⁵ Eine vollständige Liste findet sich unter github.com/plotly/dash [90]

Plotly.js ist eine Open-Source JavaScript-Bibliothek zur Datenvisualisierung, die eine Vielzahl interaktiver Diagramme und Grafiken, wie Linien-, Balken-, Scatter- und Bubble-Diagramme sowie viele weitere spezialisierte Visualisierungsformen, bereitstellt.

Zusammengefasst ermöglicht Dash durch die Kombination dieser drei Technologien – Flask, React.js und Plotly.js – die Erstellung von interaktiven, datengetriebenen Webanwendungen direkt in Python. Es integriert Frontend, Backend und Datenvisualisierung in einem einzigen, kohärenten Werkzeug, wodurch die Notwendigkeit, mehrere separate Technologien zu lernen und zu integrieren, eliminiert wird. Hierdurch vereinfacht es den Entwicklungsprozess erheblich und erlaubt es, sich auf die Datenseite und Anwendungslogik zu konzentrieren, ohne sich hierfür umfangreiche Kenntnisse in Webtechnologien aneignen oder sich in die Komplexitäten von JavaScript Frontend-Coding vertiefen zu müssen. Zudem ist Dash gut dokumentiert (Vgl. Dash Documentation & User Guide [92]) und aufgrund seiner Open-Source-Natur hochgradig anpassbar und in bestehende Systeme integrierbar. Dies erlaubt es, Dash-Anwendungen mit einer Vielzahl anderer Technologien und Datenquellen zu verknüpfen, sowie eigene Komponenten zu entwickeln oder von der Community erstellte Plugins und Erweiterungen (Vgl. *Beispiele für Dash-Anwendungen* [93]) zu nutzen.

4.1.3.2 Grundlegende Funktion von Dash

Dash-Dashboards basieren auf einem reaktivem Programmiermodell (Vgl. Bainomugisha et al., 2013 [94]). Ein bekanntes Beispiel für ein reaktives Programmiermodell ist die bekannte Excel Tabellenkalkulation. In Excel aktualisieren sich Ausgabefelder automatisch, wenn sich die Werte verknüpfter Eingabefelder verändern. Das Selbe Prinzip findet sich auch innerhalb von Dash-Anwendungen. Hier dienen spezielle Webkomponenten wie Schieberegler, Eingabefelder und Dropdown-Menüs als Eingabeelemente. Auf der Ausgabeseite stehen dann die zu aktualisierenden Graphen, Diagramme, Karten, etc, welche sich in Echtzeit anpassen, um die Interaktionen der Nutzer widerzuspiegeln.

Dash Anwendungen bauen hierzu auf drei grundlegenden Pfeilern auf:

1. Dash Core Components (dash.dcc**):**

Die **dash.dcc** Bibliothek umfasst eine Vielzahl von interaktiven Benutzeroberflächenkomponenten, welche die Grundlage für die Eingaben und Interaktion

innerhalb einer Dash-App stellen. Hierrunter fallen Steuerungselemente wie Slider, Checkboxes, Datumsauswahlfelder, Dropdown-Menüs, etc. (Vgl. Dash Core Components [95]).

2. Plotly Graphs (**plotly**.express):

Eine Python- Grafikbibliothek welche eine Vielzahl an Diagrammtypen wie Liniendiagrammen, Streudiagrammen, Flächendiagrammen, Balkendiagrammen, Fehlerbalken, Boxdiagrammen, Histogrammen, Heatmaps, Subplots, etc. zur Verfügung stellt (Vgl. Plotly Open Source Graphing Library for Python [96]).

3. Callbacks:

Callbacks verbinden schließlich die Benutzereingaben (über die Dash Core Components) mit den Ausgaben (z.B. den Plotly Graphen), indem sie definieren, wie die Daten basierend auf den Benutzerinteraktionen verarbeitet und dargestellt werden (Vgl. Basic Dash Callbacks [97]).

Das eigentliche Layout der Anwendung setzt sich (neben HTML- Elementen) aus einer Kombination der Dash Core Components und den Plotly Graphs zusammen. Die verknüpfenden Callbacks hingegen sind die treibenden Python-Funktionen im Hintergrund der Anwendung, welche die Interaktivität der Anwendung ermöglichen. Die Abbildungen 1 und 2 verdeutlichen diese Trennung von Layout und Programmlogik.

```

1  # Importieren der notwendigen Dash-Komponenten sowie Input und Output für die Callback-Funktion.
2  from dash import Dash, dcc, html, Input, Output, callback
3
4  # Initialisierung der Dash-App.
5  app = Dash(__name__)
6
7  # -----
8  # LAYOUT
9  # -----
10 # Definition des Layouts der App.
11 app.layout = html.Div([
12     # Ein einfacher Header, der den Zweck der App beschreibt.
13     html.H6("Change the value in the text box to see callbacks in action!"),
14     # Ein Div-Container, der ein Eingabefeld enthält.
15     html.Div([
16         "Input: ",
17         dcc.Input(id='my-input', value='initial value', type='text') # Das Eingabefeld mit einem Anfangswert.
18     ]),
19     html.Br(), # Fügt einen Zeilenumbruch für bessere Lesbarkeit hinzu.
20     # Ein Div-Container für die Ausgabe; initial noch ohne Inhalt.
21     html.Div(id='my-output'),
22 ])
23
24 # -----
25 # CALLBACKS
26 # -----
27 # Dekorator, der die Callback-Funktion definiert.
28 @callback(
29     Output(component_id='my-output', component_property='children'), # Definiert, wohin die Ausgabe geht.
30     Input(component_id='my-input', component_property='value') # Definiert, von wo die Eingabe kommt.
31 )
32 def update_output_div(input_value):
33     # Die Funktion, die aufgerufen wird, wenn sich der Wert des Eingabefelds ändert.
34     # Sie nimmt den Eingabewert und gibt ihn formatiert zurück, um ihn im Ausgabebereich anzuzeigen.
35     return f'Output: {input_value}'
36
37 # Der Hauptteil, der die App startet, wenn das Skript direkt ausgeführt wird.
38 if __name__ == '__main__':
39     app.run(debug=True)

```

Change the value in the text box to see callbacks in action!

Input:

initial value

Output: initial value

Abbildung 1: Codebeispiel eines simplen, interaktiven Dash Widgets (In Anlehnung an [97])

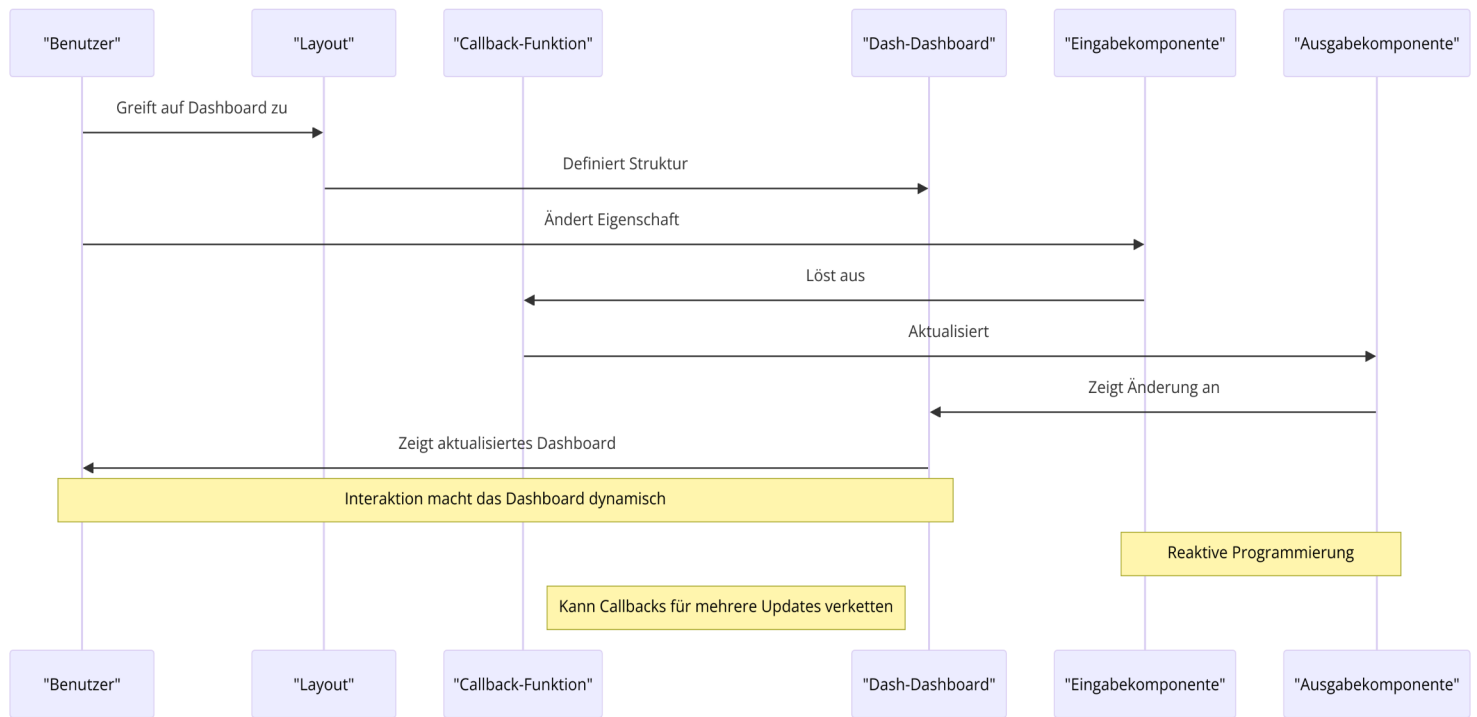


Abbildung 2: Sequenzdiagramm zur Veranschaulichung der Callback Logik (Eigene Darstellung)

4.2. Projektstruktur

Hinsichtlich der Lesbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit des Codes spielt die gewählte Projektstruktur gerade bei größeren Anwendungen eine wesentliche Rolle. Da die Struktur durch die jeweiligen Projektspezifikationen bedingt ist, gibt es für die endgültige Wahl der Projektstruktur keine universelle Lösung. Es können jedoch gewisse Grundprinzipien angewendet werden, um die Übersichtlichkeit und Effizienz eines Projektes zu erhöhen. Im vorliegenden Projekt wurde eine hierarchisch- modulare herangehensweise gewählt. Um einzelne Codeabschnitte in organisatorische Einheiten zu fassen, wurde der Code in separaten Modulen (die jeweiligen `*.py` Dateien) definiert. Um eine klare Trennung zwischen verschiedenen Teilen des Projekts zu gewährleisten, wurden die Module dann in sinnlogischen Paketen (etwa `pages` oder `utils`) zusammengefasst. Abbildung 3 zeigt die finale Projektstruktur.

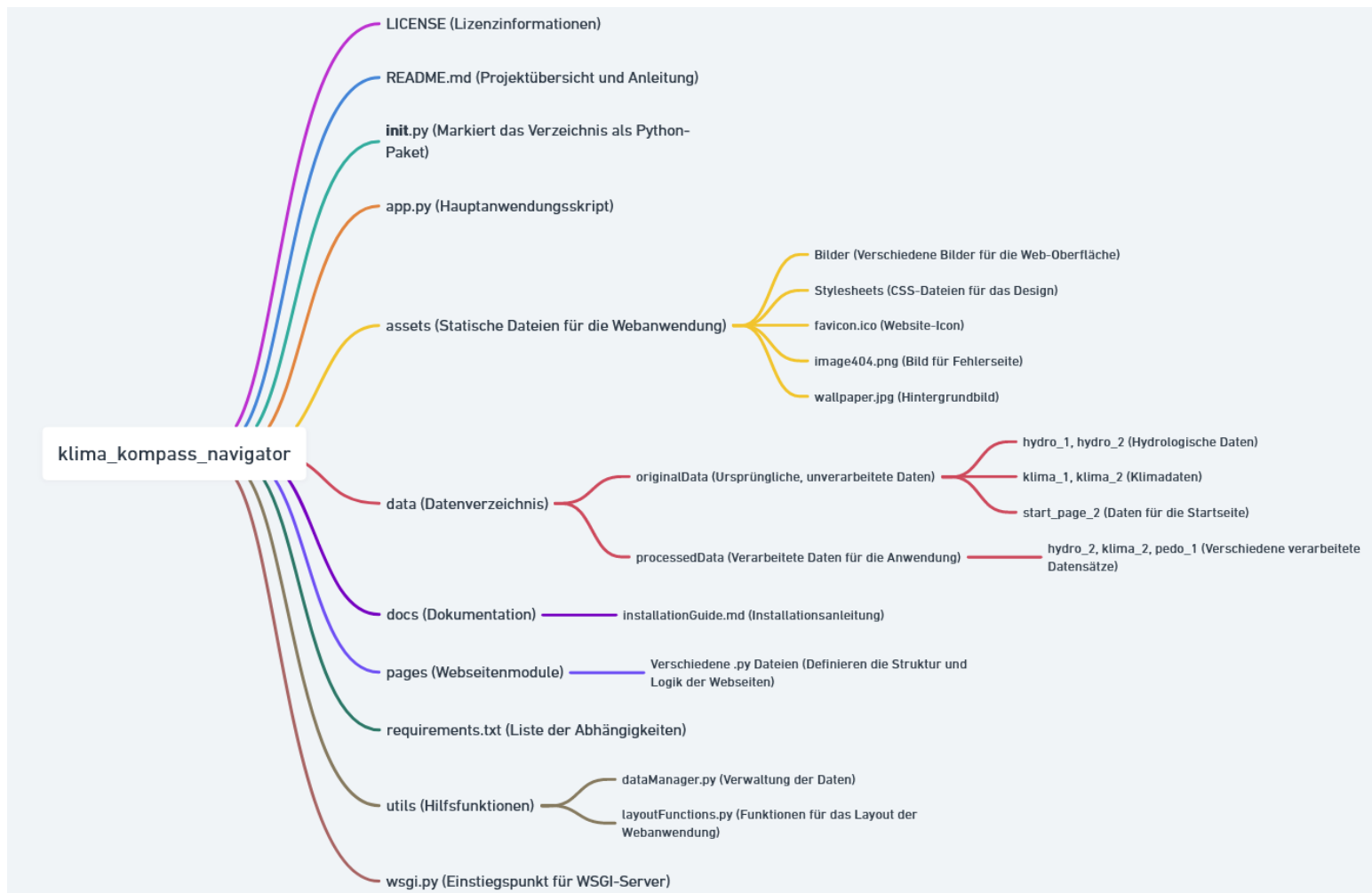


Abbildung 3: Projektstruktur (Eigene Darstellung)

Diese Struktur zeigt die Hauptbestandteile des Projekts:

- Python-Quelldateien (***.py**).
- Die Hauptkomponenten der Anwendung sind in den Paketen **pages** und **utils** organisiert:
 - Das **pages** Verzeichnis enthält die verschiedenen thematischen Seiten (**start_page_1**, **start_page_2**, **klima_1**, **klima_2**, **hydro_1**, **hydro_2**, **pedo_1**, **pedo_2**), welche über die Navigation erreichbar sind.
 - Das **utils** Verzeichnis enthält Hilfsfunktionen, die in der Anwendung verwendet werden, wie **dataManager.py** für Datenmanagementaufgaben und **layoutFunctions.py** für Layout- und Designfunktionen.
- Die **assets**- und **data**-Verzeichnisse enthalten Ressourcen und Daten, die von der Anwendung genutzt werden, darunter:

- Statische Dateien für die Speicherung von Frontend-Ressourcen, wie Bildern, Flavicons (dem Beuth Icon im Registrierkartentab des Webbrowsers), oder global definierte Stylesheets (*.css) welche für die gesamte Webanwendung gelten.
- Die Daten in verschiedenen Formaten (.csv, .nc, .dbf, .shp, .txt, .json, .xml, .html), unterteilt in originalData für die Rohdaten sowie processedData für die vorprozessierten Daten.
- requirements.txt: Enthält eine Liste der Python-Pakete, die für die Ausführung der Anwendung erforderlich sind.
- README.md, docs/installationGuide.md und LICENSE : Bieten Dokumentation zur Anwendung, einschließlich allgemeinen Informationen, Installationsanleitungen sowie den Nutzungsbedingungen.
- Die wsgi.py Zur Konfiguration des WSGI-Webservers.

Modularität:

Durch die Aufteilung des Projekts in kleinere, wiederverwendbare Module, und deren Organisation in Paketen wie pages oder util wird eine klare Trennung von Zuständigkeiten erreicht. Sie ermöglicht die Wiederverwendbarkeit von Code und trägt somit zur Reduzierung möglicher Redundanzen bei.

Die Entscheidung, die jeweiligen Widgets auf verschiedenen Webseiten zu präsentieren und diese dann als separate Module unter pages zu organisieren, ermöglicht eine flexible Entwicklung und Wartung der Anwendung. Jede Seite kann unabhängig aktualisiert, getestet und optimiert werden, ohne dass dies Auswirkungen auf andere Teile der Anwendung hat. Dieser Ansatz unterstützt nicht nur eine agile Entwicklungsmethodik, sondern verbessert auch die Stabilität und Skalierbarkeit der Anwendung.

Die spezifische Trennung von originalData und processedData trägt zur Datenorganisation bei und stellt sicher, dass die Integrität der Rohdaten erhalten bleibt, während gleichzeitig eine effiziente Verarbeitung und Analyse der Daten ermöglicht wird. Dies erleichtert die Nachverfolgung von Datenveränderungen und unterstützt eine transparente Datenverarbeitung.

Die modulare Strukturierung des Projektes erleichtert nicht nur die Navigation und Wartung des Projekts, sondern wurde ursprünglich dazu gewählt, um den Navigator von Beginn an als Blaupausenanwendung für etwaige Folgeentwicklungen konzipieren.

Zusammenfassend bietet die modulare Entwicklung erhebliche Vorteile für das Projektmanagement. Sie fördert eine klare Strukturierung, verbessert die Wiederverwendbarkeit von Code, erleichtert die Wartung und bietet eine Grundlage für zukünftige Erweiterungen und Anpassungen.

Vereinfachte Programmlogik am Beispiel von `klima_2.py`:

Im Folgenden soll nun die grobe Programmlogik der Anwendung erläutert werden. Abbildung 4 illustriert das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten beispielhaft anhand des Seiten-Moduls `klima_2.py`.

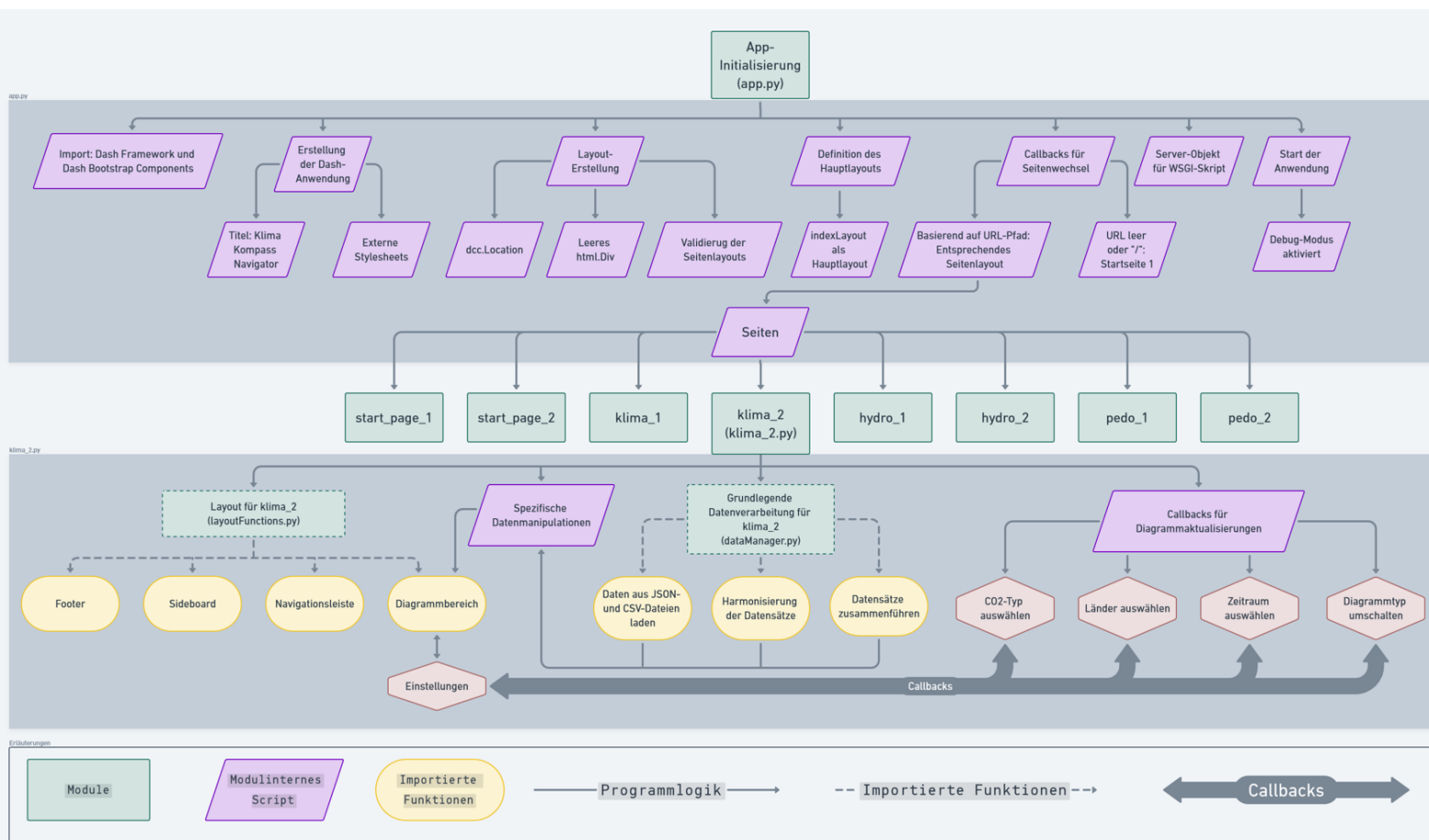


Abbildung 4: Flussdiagramm zur Funktionslogik (Eigene Darstellung)

Die grundlegende Architektur des "Klima Kompass Navigator" wird durch `app.py` strukturiert. Sie steuert die Initialisierung sowie das Routing der Anwendung.¹⁶ Sie integriert das Dash-Framework und richtet ein grundlegendes Layout ein, bestehend aus `dcc.Location` für die URL-Verarbeitung

¹⁶ Das Routing ermöglicht die Navigation einer Anwendung durch Zuordnung von URLs zu entsprechenden Seiteninhalten (Hier den `pages` Modulen).

und einem leeren `html.Div` zur Unterstützung der Layout-Validierung. Ein zentraler Callback innerhalb von `app.py` reagiert auf URL-Änderungen und steuert die Anzeige der korrespondierenden Seitenlayouts. Somit agiert `app.py` während der Laufzeit der Anwendung als Schnittstelle zwischen den Benutzerinteraktionen und den zugehörigen Seitenmodulen, indem es auf Basis der URL unterschiedliche Seiteninhalte dynamisch lädt (nähere Informationen hierzu findet sich in der entsprechenden Plotly Dokumentation (Multi-Page Apps and URL Support [98])). Während `app.py` die Grundlage für die Navigation und die Struktur der Anwendung bündelt, implementieren Seitenmodule wie `klima_2.py` die Daten-Verarbeitung, Visualisierung sowie die dynamischen Aktualisierungen der Benutzeroberflächen anhand der Benutzereingaben. Da die grundlegende Anatomie der einzelnen Seitenmodule größtenteils relativ ähnlich ist, kann Codevolumen durch die Nutzung von wiederverwendbaren Codeabschnitte eingespart werden. Daher erfolgt die strukturelle Definition der Seiten hauptsächlich durch den Import von Layoutfunktionen aus `layoutFunctions.py`. Das Modul `dataManager.py` wiederum stellt global Funktionalitäten für die Datenaufbereitung bereit. Im spezifischen Fall von `klima_2.py` werden dazu JSON- und CSV- Rohdaten aus externen Dateien geladen und vorprozessiert, woraufhin weitere spezifische Anpassungen der vorprozessierten Datensätze innerhalb der jeweiligen Seitenmodule vorgenommen werden können. Die aufbereiteten Daten treiben schließlich die interaktiven Diagramme und Visualisierungen an, welche ihrerseits importierte Funktionen sind. Den Großteil des verbleibenden seitenspezifischen Codes machen die Callbackdefinitionen, welche in Dash-Anwendungen für die Aktualisierung der Diagramme in Abhängigkeit von Benutzereingaben zuständig sind. Durch die modulare Projektstruktur und dem Import von Funktionen umfasst das gesamte Modul `klima_2.py` somit nur 445 Zeilen Code.

4.3. Datengrundlage und Datenprozessierung

Die Bereitstellung der Datengrundlage stellt einen kritischen Schritt in der Entwicklung von Dashboards dar und soll daher an dieser Stelle noch einmal gesondert behandelt werden. Neben der Auswahl der Datensätze besteht eine der Hauptherausforderungen, Daten aus diversen Quellen zu bereinigen und zu standardisieren. Hierzu umfasst die Datenaufbereitung je nach Datensatz zunächst die anfängliche explorative Datenanalyse (EDA¹⁷), gefolgt von der Bereinigung und

¹⁷ EDA (Explorative Datenanalyse) ist ein Ansatz in der Statistik, der darauf abzielt, die Hauptmerkmale von Daten zu entdecken und zu verstehen, indem man sie visualisiert und ohne strenge Annahmen analysiert.

Harmonisierung der Daten sowie der Behandlung etwaiger fehlerhafter Datenpunkte, Lücken im Datensatz oder anderer Inkonsistenzen. Alleine die Fehlerbehandlung stellt sich bei großen Datensätzen alles andere als trivial dar. Daher war bereits bei der Auswahl der Rohdaten deren Qualität ein entscheidendes Auswahlkriterium. Indikatoren für die Qualität von Datensätzen können die Reputation und Vertrauenswürdigkeit der Anbieter¹⁸ und die Transparenz hinsichtlich der Offenlegung der Methodik zur Datenerhebung, -verarbeitung und -analyse sein. Generell lässt sich festhalten, dass regelmäßig aktualisierte und häufig genutzte Datensätze, durch Erfahrung und Nutzerfeedback in der Regel weniger Fehler aufweisen.

Da innerhalb der Anwendung unterschiedliche Datensätze¹⁹ miteinander kombiniert wurden, müssen jedoch auch qualitativ gute Rohdatensätze zunächst eine Standardisierung durchlaufen. Die Standardisierung umfasst die Vereinheitlichung von Formaten, die Korrektur von Inkonsistenzen und die Anpassung von Datentypen, um eine konsistente Datengrundlage für deren spätere Aggregation in Dataframes²⁰ zu schaffen. Wie bereits zuvor erwähnt, erfolgte die Datenaufbereitung innerhalb der Anwendung zwischen dem Modul **dataManager** sowie den spezifischen Seiten-Modulen im Paket **pages**. Diese Trennung spiegelt typischerweise grundlegende Prinzipien des Software-Designs wider. Durch die Trennung der generellen Datenverwaltung und der spezifischen Datenprozessierung wird der Code übersichtlicher und leichter zu warten. Änderungen in der Datenquelle oder im Datenformat erfordern möglicherweise nur Anpassungen im **dataManager**, während die seitenspezifische Logik unberührt bleibt (Separation of Concerns²¹). Gleichzeitig ermöglicht es die modulare Struktur neue subpages (Unterseiten) mit spezifischen Datenanforderungen hinzuzufügen, ohne dabei den Kern der Datenverwaltung zu überladen. Dies fördert die Skalierbarkeit und ermöglicht die Anwendung um weitere Module zu erweitern.

18 Von der Option sich Datensätze von Behörden direkt zusammenstellen zu lassen, wurde aufgrund der langen Bearbeitungszeiten abgesehen.

19 Beim Klima_Kompass_Navigator handelt es sich um eine Datenintensive Anwendung. Eine Tabelle mit weiteren Informationen zu den genutzten Datensätzen findet sich im Anhang unter [verwendete Datensätze](#).

20 Dataframes bilden die Basis Struktur für die Organisation der Daten für die meisten Widgets innerhalb der Anwendung.

21 Separation of Concerns (SoC) ist ein Designprinzip zur Aufteilung eines Programms in distinkte Abschnitte, wobei jeder Teil eine separate Aufgabe oder Bedenken adressiert. Dies fördert eine klarere Organisation und Wartbarkeit des Codes.

Architektur der Datenverarbeitung: Zentralisierung und Spezialisierung:

1. **dataManager Modul:**

- **Zentralisierte Datenverwaltung:** Das **dataManager** Modul dient der zentralisierten Verwaltung von Daten. Es ist verantwortlich für das Laden und die Vorverarbeitung der Daten, um diese für die gesamte Anwendung verfügbar zu machen.
- **Wiederverwendbarkeit:** Funktionen innerhalb des **dataManager** Moduls sind so gestaltet, dass sie von verschiedenen Teilen der Anwendung wiederverwendet werden können. Dies reduziert Redundanzen und fördert die Konsistenz.
- **Abstraktion:** Das Modul abstrahiert die Komplexität der Datenbeschaffung und -aufbereitung von den spezifischen Seiten-Modulen. Dies ermöglicht es sich auf die Präsentationslogik der jeweiligen Seiten-Modulen zu konzentrieren, ohne sich um die Details der Datenbeschaffung kümmern zu müssen.

2. **Module im Paket pages:**

- **Spezifische Datenprozessierung:** Die Module im **pages** Paket führen spezifischere Datenprozessierungen durch, welche auf die Anforderungen der jeweiligen Seite zugeschnitten sind, etwa die Anpassung der Daten für spezifische Visualisierungen oder die Durchführung von Berechnungen, die nur im Kontext der jeweiligen Seite relevant sind.
- **Flexibilität:** Die Trennung ermöglicht eine flexiblere Entwicklung und Anpassung der Seitenlogik. Hierdurch kann die Datenprozessierung auf Seitenebene angepasst werden, ohne die zentrale Datenverwaltung im **dataManager** Modul oder anderen Teilen der Anwendung zu beeinträchtigen.

Das Modul **dataManager** bündelt das Instrumentarium für die grundlegende Vorverarbeitung der genutzten Rohdaten. Es deckt hierbei von der Datenaufbereitung über die Anpassung von Datenformaten bis hin zur spezifischen Datenbereinigung und -aggregation ein breites Spektrum ab.²² Alle weiteren Datenprozessierungsschritte erfolgen innerhalb der jeweiligen Modul-Seiten²³.

22 Eine Tabelle mit genaueren Details über die einzelnen **dataManager** Funktionen findet sich im Anhang unter [dataManager Funktionen](#).

23 Eine Tabelle mit genaueren Details über die spezifischen modulinternen Datenprozessierungen findet sich im Anhang unter [Spezifische modulinterne Datenprozessierung](#).

4.4. Layout

Da der gegebene Platz auf dem Bildschirm limitiert ist, müssen vorab Entscheidungen hinsichtlich der Komposition der dargestellten Informationen getroffen werden. Dies umfasst die Beziehung zwischen den einzelnen Seiten der Anwendung (Navigationsstruktur) sowie die Wahl der jeweiligen Seiten-Layouts und weiteren Strategien zur Effizienten Ausnutzung der Anzeige zu einem gewählten Zeitpunkt. Um eine effiziente und effektive Interaktion mit den Daten zu gewährleisten orientiert sich das gewählte Seitenlayout des "Klima-Kompass-Navigators" an den bewährten Grundsätzen des Benutzeroberflächendesigns (Vgl. Unger & Chandler, 2024 [99]). Besonderer Fokus lag auf einer klaren, übersichtlichen und vor allen Dingen konsistenten Gestaltung und somit einer Benutzerschnittstelle zu schaffen, in welcher sich der Anwender intuitiv zurechtfinden und selbstständig Navigieren kann. Vorrangiges Ziel war es den jeweiligen Widgets einen möglichst prominenten Platz auf dem Bildschirm zukommen zu lassen. Dazu wurden eine Haupt- und eine Unterseiten navigationsleiste implementiert. Die Navigation erfolgt hierbei grundsätzlich einer hierarchisch-semantischen Grundstruktur wobei die Navigation zwischen den thematischen Oberpunkten über die Hauptnavigationsleiste am oberen Bildschirmrand realisiert wurde. Von hier aus kann auf den entsprechenden Themenseiten über eine zweite Navigationsbar oberhalb der Seitenleiste zwischen weiteren Unterkategorien gewechselt werden.

Zur zusätzlichen Optimierung der Bildschirmnutzung wurden weitere verschiedene Design-Techniken miteinander kombiniert. Die Integration von Hyperlinks zu weiteren Informationsquellen, erweiterbaren Feldern, Informationsbuttons, zur Auslösung von Pop-up-Fenstern, Hoover-Tooltips, Dropdown-Feldern und Dropdown-Auswahlen zum Laden verschiedener Widgets sowie der Aufteilung von Widget-Ansichten in verschiedenen Tabs, stellen sicher, dass ein umfangreiches Informationsangebot möglichst effizient und intuitiv dargestellt werden kann. Diese Methoden ermöglichen es, eine klare und interaktive Benutzeroberfläche zu schaffen, die die Bildschirmfläche optimal ausnutzt, indem sie den Nutzern die Möglichkeit gibt, die angezeigten Daten dynamisch anzupassen und zusätzliche Informationen auf Anfrage (Detail on Demand²⁴) zugänglich zu machen. Durch die Kombination dieser Techniken konnte eine große Menge an Informationen effektiv auf einem begrenzten Bildschirmbereich präsentiert werden.

Die Strukturierung der Inhalte erfolgte mittels eines Multi-Column Layouts, bei der der Inhalt in mehrere vertikale Spalten aufgeteilt wird und sich dabei an einem 12-spaltigen, fluiden Grid

24 "Details on Demand" ist ein Designkonzept, das es Nutzern ermöglicht, zusätzliche Informationen zu einem Element bei Bedarf abzurufen, ohne mit Informationen überladen zu werden.

orientiert [100]. Dieses Design hat neben einer besseren Lesbarkeit (Da sich die Augenbewegung von Zeile zu Zeile reduziert, kann dies gerade bei großen Bildschirmen die Lesbarkeit erhöhen) den Vorteil, dass es die Darstellung auf verschiedenen Ausgabegeräten optimiert wird, indem es sich dynamisch an die Breite des Browserfensters anpasst. Inhalte werden somit auf einem breiten Desktop-Monitor ebenso übersichtlich präsentiert wie auf einem Tablet oder Smartphone. Die Verwendung eines Grid-Systems erleichtert zudem die konsistente Ausrichtung und Skalierung der Elemente, was zu einem konsistenten Gesamtbild beiträgt.

Viele der Grundelemente setzen sich aus bewährten Bootstrap²⁵-Komponenten (wie Navigationsleisten, Informations-Buttons, Karten, Modal-Buttons, erweiterbare Felder, etc.) zusammen. Diese standardisierten Komponenten beschleunigen die Entwicklung und sorgen für eine intuitive Nutzerinteraktion, da sich Bootstrap-Komponenten auf zahlreichen Webseiten wiederfinden und somit eine geringere Einarbeitungszeit für die Nutzer bedeuten. Alle Unterseiten der Anwendung weisen dieselbe Grundstruktur auf, welche sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammensetzt:

1. **Navigationsleiste am oberen Rand:** Sie ist das primäre Navigationsinstrument und erlaubt den Wechsel zwischen den thematischen Hauptseiten. Ein Dropdown-Menü bietet direkten Zugriff auf weitere relevante externe Ressourcen wie dem Quellcode und Informationen zum Studiengang.
2. **Seitenleiste mit Informationen:** Diese Leiste bietet neben zusätzlichen Navigationslinks zu den Unterseiten auch grundlegende Informationstexte. Hyperlinks führen zu weiterführenden Quellen, während expandierbare Abschnitte und Modal-Buttons tiefer gehende Informationen (etwa zu den verwendeten Datensätzen) bereitstellen.
3. **Hauptbereich für Widgets:** Dieser Abschnitt beherbergt die interaktiven Widgets.
4. **Einstellungskarte über den Widgets:** Diese Karte, die mit zugehörigen Einstellungs- und Interaktionselementen ausgestattet ist, ermöglicht es dem Nutzer, die angezeigten Informationen direkt zu manipulieren. Hierbei soll übersichtlich bleiben und es den Nutzern so ermöglichen, die Darstellung schnell und einfach anzupassen, ohne die Orientierung zu verlieren.
5. **Fußzeile am unteren Rand der Seite:** Ein Feld für Nutzungshinweise und Lizenzinformationen.

25 Bootstrap ist ein Frontend-Framework für die Webentwicklung. Es bietet HTML-, CSS- und JS-Templates für Typografie, Formulare, Buttons, Navigation und andere Interface-Komponenten, sowie optionale JavaScript-Erweiterungen (Vgl. Bootstrap [101]).

Abbildung 5 zeigt das grundlegende Seitenlayout.

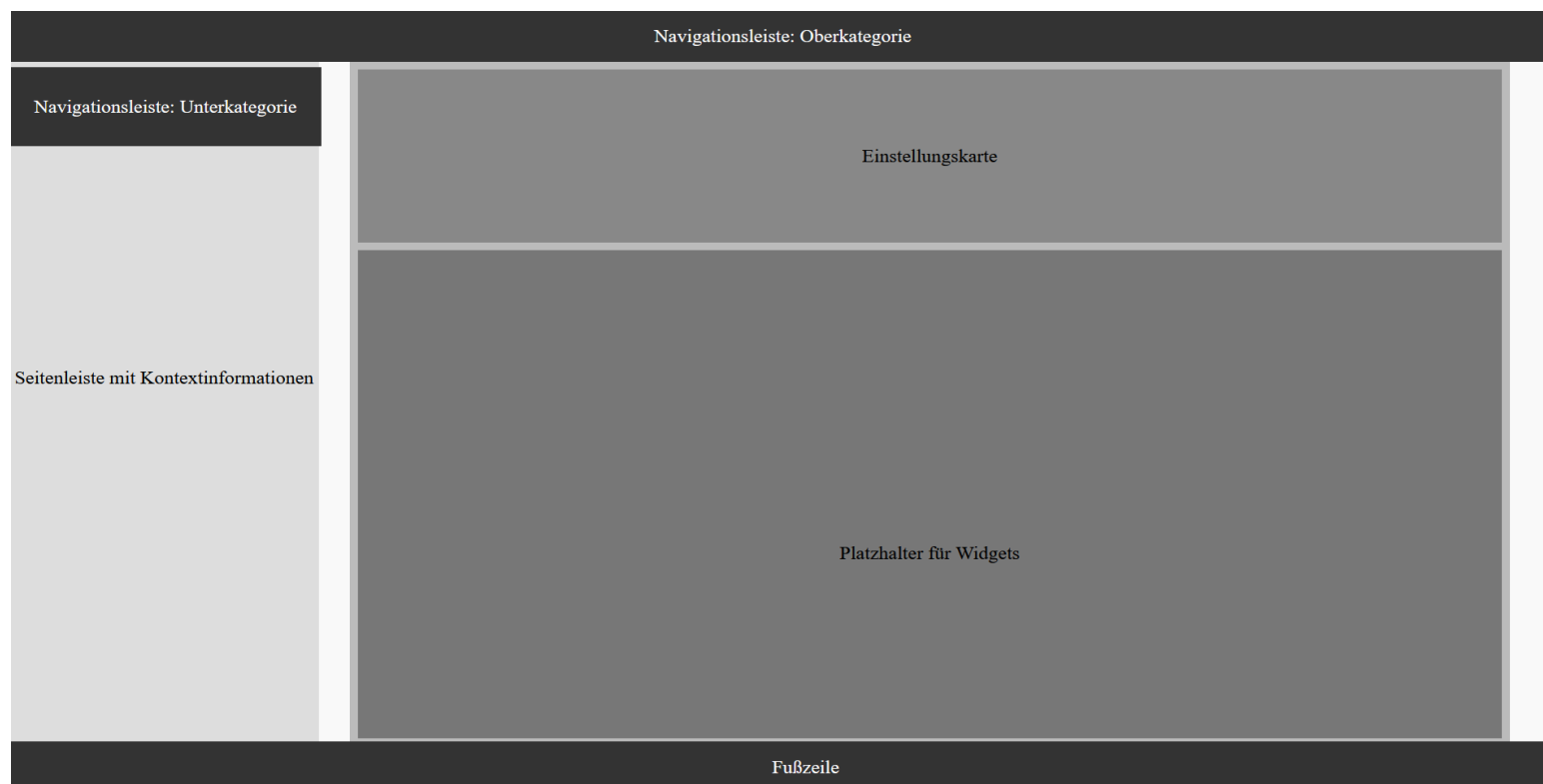


Abbildung 5: Allgemeines Seitenlayout (Eigene Darstellung)

4.5. Design

Der Stil der jeweiligen Hauptkomponenten sowie deren Inhalte wurde in separaten CSS-Stylesheets²⁶ definiert:

1. **Bootstrap CSS (`bootstrap.css`):** Dieses Stylesheet ist eine Kopie des Standard-Bootstrap-Frameworks (vgl. Bootswatch [102]), das grundlegende Stildefinitionen für Webseiten bietet (wie Layouts, Typografie, Formulare, Buttons, Navigation und andere Interface-Komponenten, sowie zusätzliche JavaScript-Plugins).
2. **Custom CSS (`custom.css`):** Dieses Stylesheet enthält spezifische Anpassungen, die auf die Bedürfnisse der Webseite zugeschnitten sind. Diese Anpassungen ermöglichen es, das visuelle Design der Webseite über die Standard-Bootstrap-Komponenten hinaus zu

²⁶ CSS (Cascading Style Sheets) ist eine Stylesheet-Sprache, die verwendet wird, um das Aussehen und Layout von Dokumenten, die in Markup-Sprachen wie HTML geschrieben sind, zu gestalten. Es ermöglicht Webentwicklern und Designern, Farbe, Schriftart, Abstände, Größe und andere visuelle Aspekte von Webseiten separat vom Inhalt zu steuern, was eine flexiblere und effizientere Webgestaltung fördert.

erweitern und zu personalisieren. Es überschreibt hierzu einige der Standard-Bootstrap-Stile und fügt neue hinzu. Zum Beispiel:

- Änderungen am **body**-Tag, um Abstände hinzuzufügen.
- Anpassungen der **.navbar-custom** Klasse für die Navigationsleiste (etwa für Schriftgröße oder Farbe).
- Definitionen für **.nav-link-custom** und **.custom-tabs** zur Anpassung der Navigationselemente und Tabs.
- Spezifische Stile für Interaktionselemente (z.B. Anpassungen des **pedo_1_slider** hinsichtlich Positionierung, Hintergrundfarbe, Griffdesign und Schattenverhalten bei Aktivierung).
- Etc.

Auf diese Weise können durch die Nutzung grundlegender Stildefinitionen aus **bootstrap.css** schnell visuell ansprechende Anwendungen entwickelt und anschließend durch Definitionen in **custom.css** leicht an die eigenen Vorstellungen angepasst werden.

Um Komplexität zu vermeiden, - und nicht zuletzt auch aufgrund begrenzter Expertise auf dem Gebiet - folgte das grundlegende Design dem KISS-Prinzip. Das KISS-Prinzip ("Keep It Simple, Stupid") fordert, das Design möglichst einfach zu halten, um Nutzbarkeit und Verständlichkeit zu maximieren. Es geht davon aus, dass weniger komplexe Systeme nicht nur zuverlässiger, sondern auch einfacher für Endnutzer zu bedienen sind (Vgl. Smith, 2012 [103]). Ein illustratives Beispiel für die Umsetzung des KISS-Prinzips im Klima-Kompass-Navigator ist die Verwendung von Farbcodierungen (Vgl. hierzu beispielhaft Abbildung 6). Diese ermöglichen es Komplexität zu reduzieren und gleichzeitig Trends und Muster intuitiv hervorzuheben, ohne hierbei auf umfangreiche textuelle Erläuterungen angewiesen zu sein. Die Verwendung von Farbcodierungen zur visuellen Hervorhebung bestimmter Trends oder Muster in den Daten, beispielsweise durch den Einsatz warmer Farbtöne zur Signalisierung zunehmender Temperaturen über die Zeit oder anderer Signalfarben zur Unterstreichungen potenziell kritischer Entwicklungen, kann zum einen das Verständnis der Nutzer verbessern und schafft zum anderen eine Wahrnehmung von Dringlichkeit.

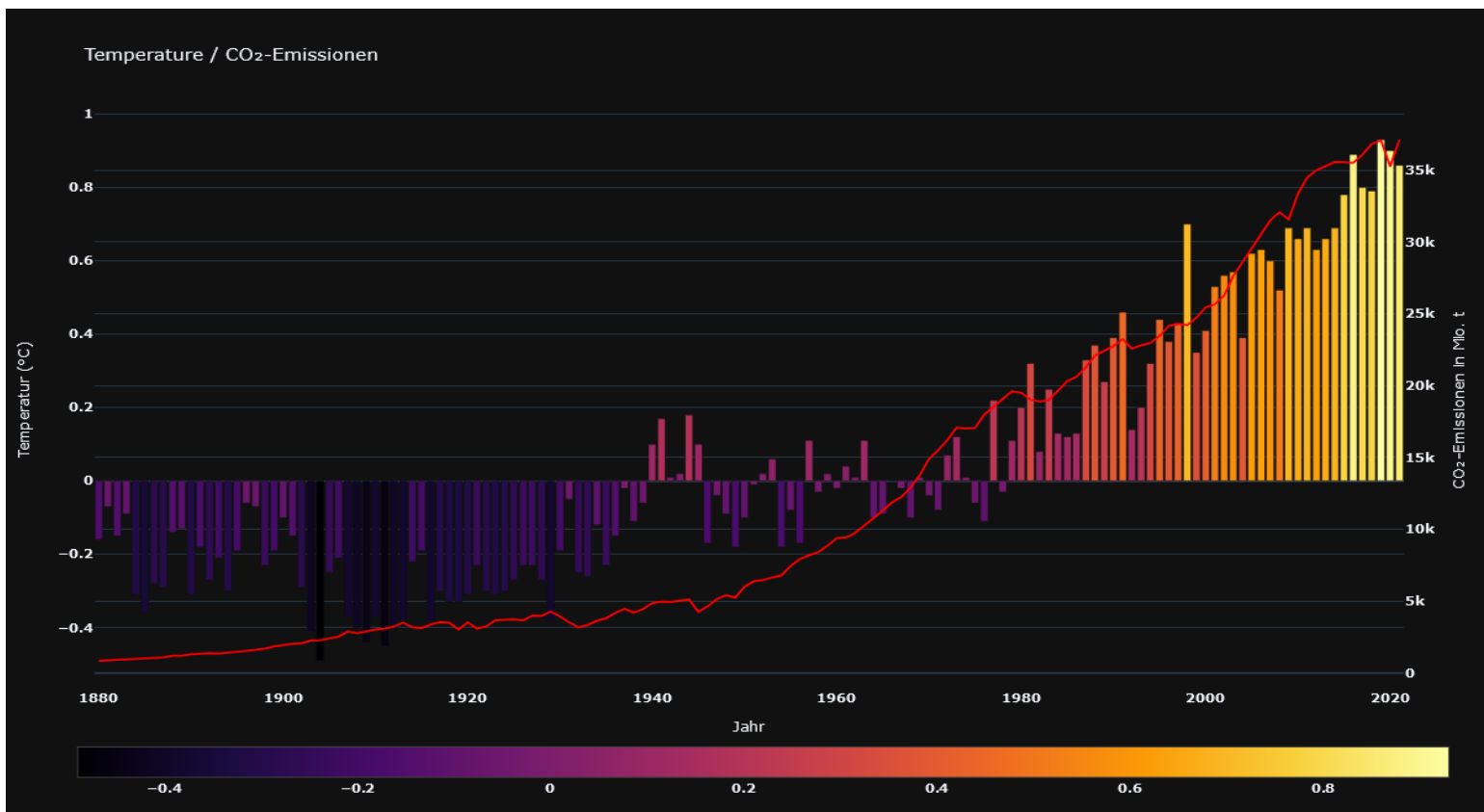


Abbildung 6: Beispiel für Farbkodierung (Eigene Darstellung)

Gleichzeitig birgt der gezielte Einsatz solcher visuellen Hervorhebungen auch die Gefahr einer impliziten Vorinterpretation der Daten, die die Objektivität und Integrität der gesamten Anwendung beeinträchtigen könnte. Es ist essenziell zu erkennen, dass die Vermittlung von Daten niemals vollständig neutral erfolgen kann. Sowohl durch die Auswahl der dargestellten Informationen als auch durch deren Präsentationsweise werden bereits bestimmte Perspektiven und Annahmen suggeriert. Aus diesem Grund wurden in den Dashboards bestimmte Voreinstellungen so gewählt, dass sie nicht nur einen spezifischen Fokus legen, sondern auch zur aktiven Exploration und Überprüfung alternativer Sichtweisen und räumlicher Bereiche anregen (Vgl. Victor, Abschnitt "Explorable Examples" [48]). Dies soll Nutzern die Möglichkeit geben, eigenständig Hypothesen zu formulieren und individuelle Erkenntnisse zu gewinnen, wodurch ein tieferes Verständnis der behandelten Themen ermöglicht und gefördert wird.

4.6. Steuerungs- und Darstellungskomponenten

Diese Arbeit zielte darauf ab, die vielfältigen Möglichkeiten zu erkunden, wie der Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt, die Böden und die Vegetation in interaktiven Dashboards visualisiert werden kann. Die Konzeption der Dashboard-Elemente erfolgte in iterativer Entwicklung, orientierte sich dabei jedoch an einigen grundlegenden Strategien und Designprinzipien (Siehe hierzu [Methodik](#)). So wurde die finale Auswahl der einzelnen Widgets anhand mehrerer zum Teil konkurrierenden Schlüsselkriterien getroffen.

Um einen gewissen Wiedererkennungswert zu gewährleisten wurde versucht gesellschaftspolitisch relevante Themen aufzugreifen und somit eine Identifikation des Nutzers mit für ihn ansonsten möglicherweise relativ abstrakten Themen zu fördern. Gleichzeitig sollte ein möglichst vielfältiges und abwechslungsreiches Erlebnis geschaffen werden.

Basierend auf Victors Konzept der "Explorable Explanations" wurde versucht, einen möglichst hohen Grad an Interaktivität in die Dashboards integrieren. Der Nutzer kann durch verschiedene Auswahlelemente wie Inputboxen, Dropdown-Menüs oder Tabselektoren sowie anderen responsiven Elementen zunächst die gewünschten Ansichten auswählen, vergleichen und so untereinander in Bezug setzen. Um eine tiefere Interaktion mit den Daten zu ermöglichen, können weiterführende Steuerungselemente, wie Schieberegler, vorher-nachher-Vergleichen, Feldern für die Datumsauswahl, Auswahlkästchen, etc. genutzt werden, um die ausgewählten Daten weiter zu modifizieren oder anderweitig zu manipulieren (Vgl. Abbildung 7).

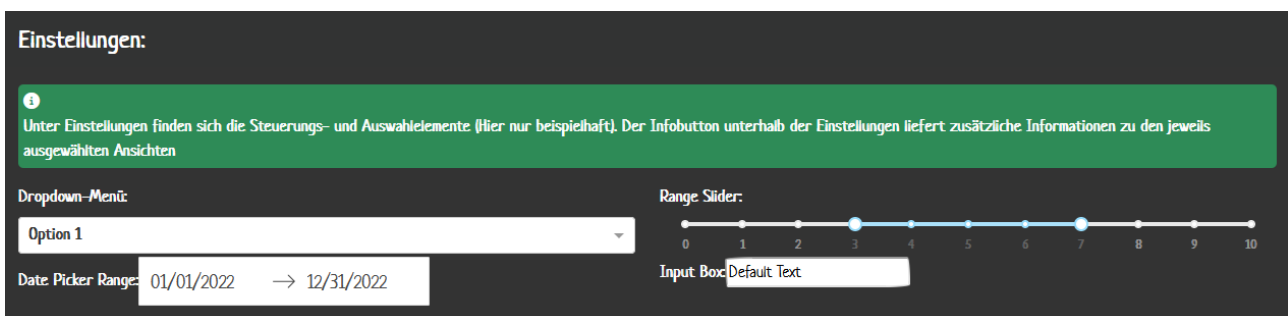


Abbildung 7: Beispielhafte Einstellungen auf der Einführungsseite (eigene Darstellung)

Die Diagramme und Karten selbst bieten schließlich noch die üblichen seitens Plotly Dash vorintegrierten Standard Interaktionsmechanismen, wie etwa die individuelle Selektion einzelner Graphen, Funktionen zum Zoomen oder Verschieben des Ausschnitts sowie download- oder reset-Optionen. Um den Daten in ihrer ganzen Breite gerecht zu werden und die Visualisierung nicht nur informativ, sondern auch ansprechend zu gestalten, wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Diagrammtypen eingesetzt. Dies diente zum einen der Vermeidung von Monotonie und zum

anderen als Teil einer generellen ‘Machbarkeitsstudie’ hinsichtlich des Einsatzes von Dashboards im Kontext der Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt.

Technische Beschränkungen (Siehe hierzu [Diskussion](#)) und der spezifische Untersuchungsgegenstand implizierten gewisse Limitationen hinsichtlich der Auswahl. Dennoch wurde versucht, keinen spezifischen Diagrammtypen übermäßig zu verwenden. Stattdessen wurde auch hier eine breite Palette an Visualisierungstechniken genutzt (neben den archetypischen Diagrammtypen etwa in Form verschiedener Geovisualisierungen wie statischen und dynamischen Karten, Choroplethenkarten oder Satellitenbildkarten). Diese facettenreiche Darstellung der Daten sollte dazu beitragen, die Aufmerksamkeit und das Interesse der Nutzer auf spielerische Weise zu wecken und aufrechtzuerhalten.

4.7. Ergänzende Informationen und Kontextualisierung

Schließlich zielten die ausgewählten Themen für die Dashboards nicht nur darauf ab, Inhalte aufgrund ihrer Bedeutung und Zugänglichkeit zu präsentieren, sondern auch darauf, die Nutzer durch Metainformationen über methodologische Aspekte der Klima- und Datenwissenschaft zu informieren. Das Ziel war, ein tieferes Verständnis für die zugrundeliegenden Prozesse und Herausforderungen in diesen wissenschaftlichen Feldern zu fördern.

Die Bereitstellung ergänzender Informationen spielte eine zentrale Rolle bei der objektiven und neutralen Vermittlung von Inhalten. Ziel war es, den Nutzern ohne explizites Framing Kontext und Interpretationshilfen zu den visualisierten Daten zu bieten. Zu diesem Zweck wurden die Dashboards um eine Vielzahl von Hilfstexten, weiterführenden Links, Erläuterungen zu den Dashboardfunktionen sowie Informationen zu den verwendeten Daten ergänzt (Vgl. Abbildung 8). Die Bereitstellung umfassender Hintergrundinformationen zu Datenquellen, Analysemethoden und gezogenen Schlussfolgerungen stärkt die Transparenz des Forschungsprozesses und fördert das Verständnis der Nutzer.



Die Seitenleiste bietet Informationen und weiterführende links zu den jeweiligen Dashboards. Durch klicken auf " WEITERE INFORMATIONEN " unterhalb des Textes, erweitern sie diesen.

Diese Seite bindet die Carbon Uhr des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) ein. Diese wurde anhand der neuesten Daten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) überarbeitet, um das verbleibende globale Budget für Treibhausgasemissionen anzuzeigen. Dies verdeutlicht den Druck für politische Maßnahmen zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 und 2 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau. Die aktualisierte Uhr veranschaulicht, dass das Zeitfenster für entscheidende Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels immer knapper wird.

WEITERE INFORMATIONEN



Hier finden sich spezifischere Informationen, etwa zur Datengrundlage oder der näheren Einordnung der jeweiligen Dashboards.

Der IPCC kondensiert die Forschungsergebnisse aus rund 14.000 Fachveröffentlichungen zum physikalischen Grundlagen des Klimawandels und identifiziert schwerwiegendere Veränderungen als bisher angenommen. Die CO₂-Restbudgets für die 1,5- und 2-Grad-Ziele wurden zuletzt leicht erhöht und liegen nun bei 400 und 1150 Gigatonnen CO₂. Die Anhebung des Budgets folgt methodischen Weiterentwicklungen in der Klimaforschung. Die Budgets sind so berechnet, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit die Temperaturziele erreichen (basierend auf zwei Dritteln der untersuchten Szenarien). Die Generalsekretärin des MCC Brigitte Knopf betont den enormen Handlungsdruck angesichts der zunehmenden Extremwetterereignisse und des besorgniserregenden Trends im IPCC-Bericht und fordert dringend wirksame Maßnahmen in der globalen Klimapolitik.

Verwendete Daten:



Und schließlich noch zu ausführlicheren Informationen zu den verwendeten Datensätzen. Klicken sie hierfür einfach auf die jeweiligen Datensätze



MCC Carbon Clock

Abbildung 8: Kontextinformationen auf der Einführungsseite (eigene Darstellung)

Dashboard-spezifische Informationsbuttons: Um die Nutzer zusätzlich zu unterstützen, wurden spezielle Informationsbuttons eingeführt, die Zugang zu erläuternden Angaben speziell für das jeweilige Dashboard bieten (Vgl. Abbildung 9). Diese Buttons erleichtern das Verständnis der dargestellten Datenansichten, indem sie interpretative Hinweise und Hervorhebungen wichtiger Datenpunkte liefern. Die bereitgestellten Informationen sind dabei so aufbereitet, dass auch Personen ohne spezifische Vorkenntnisse ein fundiertes Verständnis der Thematik erlangen können.

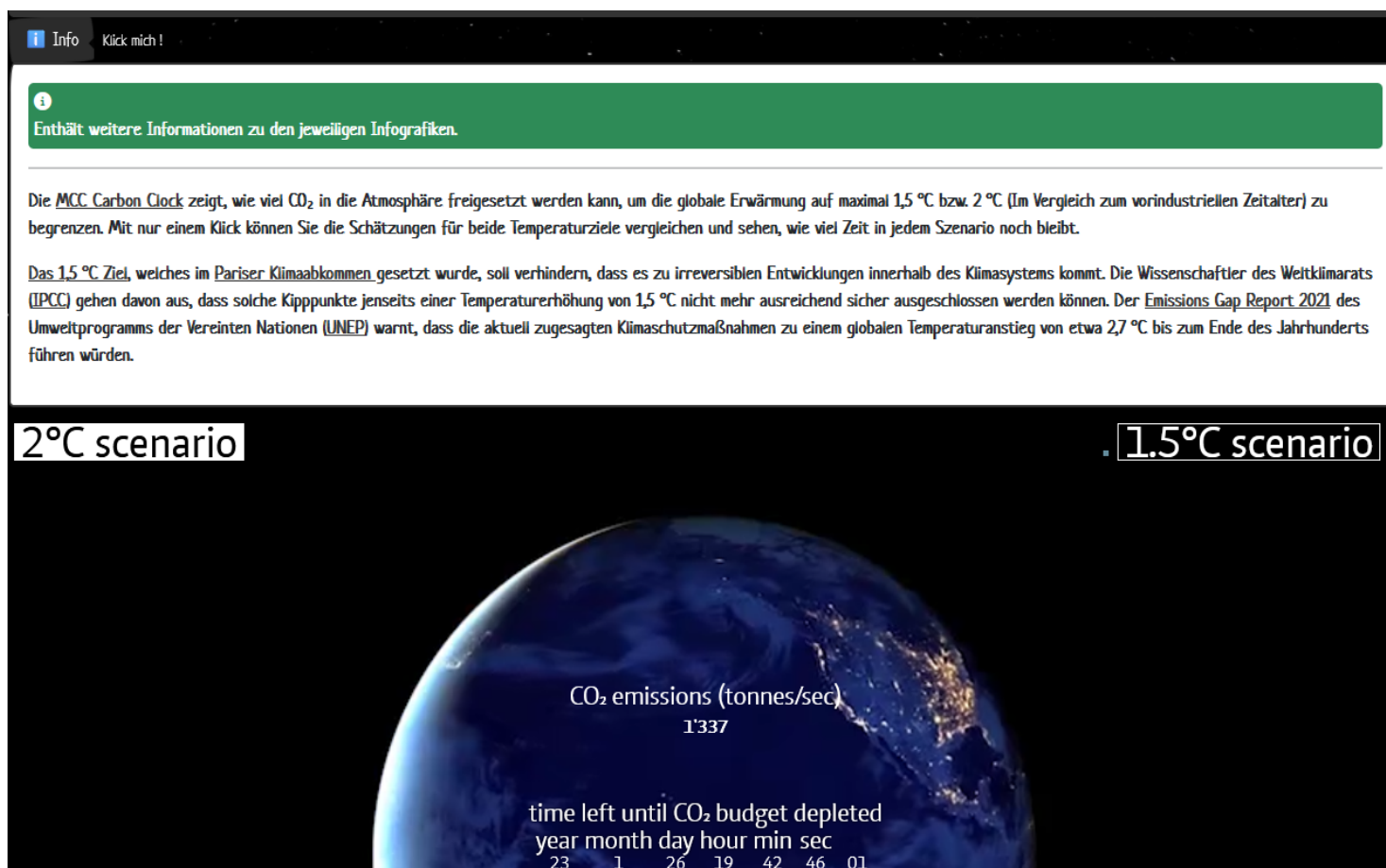


Abbildung 9: Informationsbutton auf der Einführungsseite (eigene Darstellung)

Interaktive Hilfsmittel zur Informationsgewinnung: Neben textuellen Erläuterungen und Informationsbuttons wurden interaktive Tooltips integriert (Vgl. Abbildung 10). Diese zeigen bei Berührung mit dem Cursor detaillierte Informationen zu spezifischen Datenpunkten an und ermöglichen es den Nutzern, nahtlos und direkt im Kontext der Visualisierung vertiefende Informationen abzurufen.

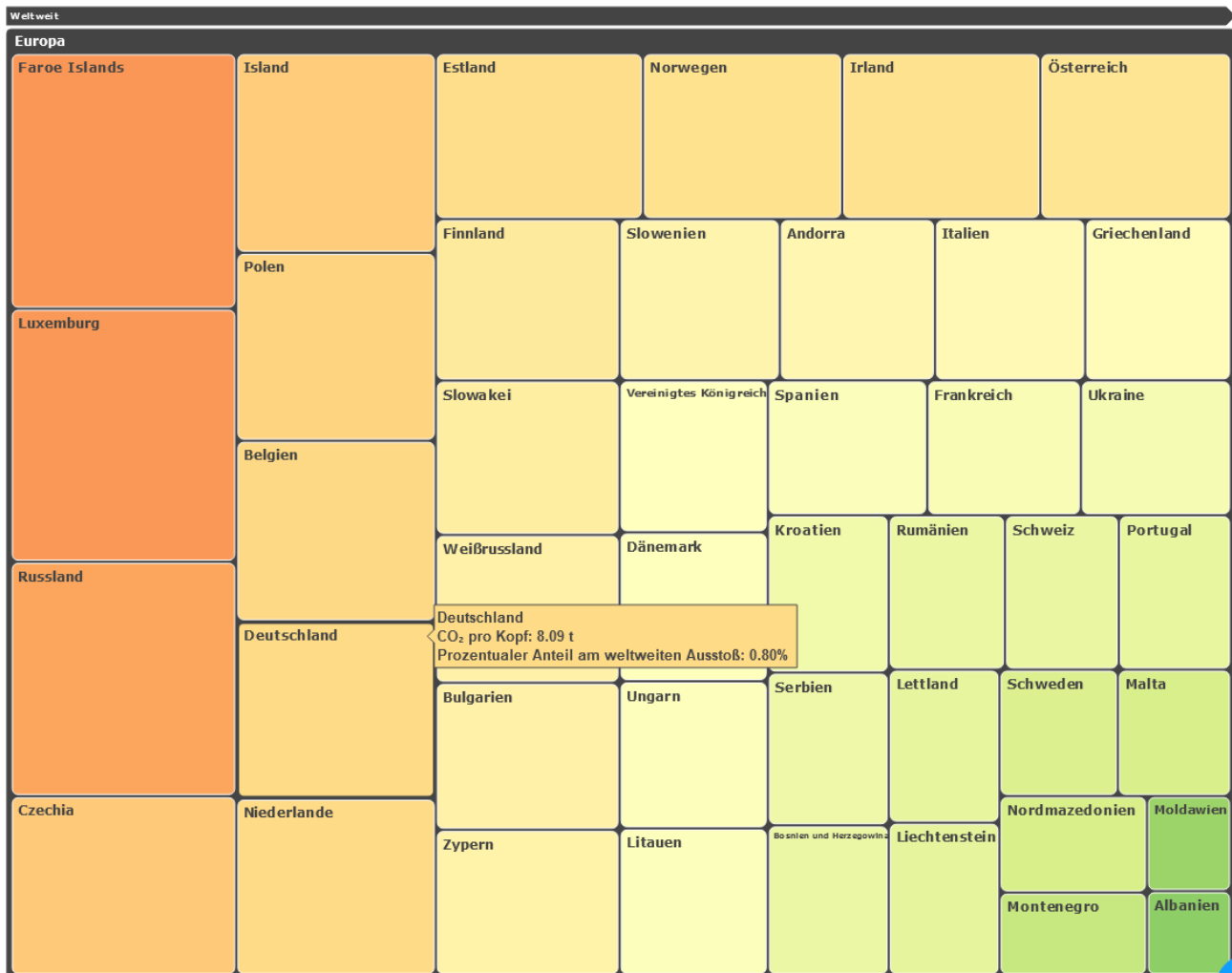


Abbildung 10: Beispiel eines Tooltips auf der Unterseite CO₂ Emittenten (eigene Darstellung)

In der finalen Version besteht der "Klima-Kompass-Navigator" aus insgesamt 19 Widgets, welche unter thematischen Oberpunkten (Einführung, Klimatologie, Hydrologie und Pedologie) zu jeweils zwei Unterkategorien (Einführungsseite (CO₂ Budget), CO₂ und das Klima, CO₂ Emittenten, CO₂ Emissionen nach Quelle, arktischer Eisschild, Waldökosysteme und ihr Wasserhaushalt, Dürre Monitor und Permafrostböden) aufgegliedert sind.²⁷

²⁷ Ein tabellarischen Überblick über die entwickelten Unterseiten findet sich im Anhang unter [Tabellarische Übersicht der entwickelten Unterseiten](#).

5. Diskussion

Die Masterarbeit konzentrierte sich auf eine Machbarkeitsstudie mit dem Ziel, zu untersuchen, inwiefern die komplexen Effekte des Klimawandels auf den Wasserhaushalt, den Boden und die Vegetation durch interaktive Dashboards dargestellt werden können. Dies wurde vor dem Hintergrund der Herausforderungen in der Wissenschaftskommunikation und der Notwendigkeit einer klaren und verständlichen Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse unternommen. Ein zentraler Aspekt der Studie war die Untersuchung, inwiefern Dashboards dazu beitragen können, die psychologischen Distanzen – sei es räumlich, zeitlich, sozial oder hypothetisch – zu überbrücken, um die Bedeutung und Dringlichkeit des Klimawandels für ein breiteres Publikum verständlich zu machen. Angesichts der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Dashboards wurden zu Beginn im konzeptionellen Teil der Arbeit spezifische Ziele festgelegt. In der methodischen Ausarbeitung wurden diese Ziele präzisiert und es wurde erörtert, wie diese am effektivsten realisiert werden könnten.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass das initial gewählte Konzept einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Dashboards hatte. Es diente in vielerlei Hinsicht als solider Leitfaden. Gerade technische Limitationen erforderten jedoch auch immer wieder Anpassungen der ursprünglich gewählten Konzeptionen. Um flexibel auf diese reagieren zu können, orientierte sich die Implementierung an Prinzipien der agilen Softwareentwicklung, welche auf iterativer Programmierung (d.h., der schrittweise Entwicklung von Programmfunktionen) und dynamischen Anpassungen der Eingangsannahmen beruht. Hierbei wurde deutlich, dass bestimmte Annahmen des ursprünglich gewählten Konzepts, besonders in späteren Projektphasen, auch zu speziellen Herausforderungen und Pfadabhängigkeiten (Bestimmte Entscheidungen können dann nur noch schwer revidiert werden) führen können.

Es bleibt festzuhalten, dass insbesondere bei umfangreichen Projekten ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen der anfänglich getroffenen Planung sowie einer gewissen Flexibilität während der Umsetzung eine wesentliche Rolle für den Projekterfolg darstellt. In diesem Kapitel sollen daher die wichtigsten Erkenntnisse dieses graduellen Lernprozesses während der Implementierung sowie die daraus resultierenden Anpassungen bezüglich des ursprünglich gewählten Konzepts und der angewandten Methodiken kurz zusammengefasst werden. Hierauf aufbauend wird ein möglicher Ausblick für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten formuliert. Zum Abschluss erfolgt eine kritische Reflexion der gesamten Arbeit.

5.1. Herausforderungen bei der Umsetzung des gewählten Konzepts

Durch die Festlegung eines grundlegenden Handlungsrahmens boten die konzeptuellen Entscheidungen eine solide Struktur für die Annäherung an das komplexe Thema der Visualisierung des Klimawandeleinflusses auf unsere Umwelt. Diese strukturelle Basis erwies sich als unerlässlich, um das Projekt angesichts seiner zunehmenden Komplexität zielgerichtet voranzutreiben und vor der Fragmentierung in zu viele divergierende Ziele und Methoden zu bewahren. Trotz dieser klaren Ausrichtung führte der erweiterte Projektumfang zu Herausforderungen, welche die theoretischen Konzepte und praktische Umsetzungsmöglichkeiten auf die Probe stellten. In der Folge, wurde es zunehmend schwieriger, die Treue zum ursprünglichen Konzept zu wahren. Die Herausforderung bestand darin, eine Balance zu finden zwischen der Schaffung einzigartiger und differenzierter Dashboard-Lösungen, der Auswahl und Nutzung verfügbarer Datenquellen im Bereich des Klimawandels und den spezifischen Anforderungen an ihre Qualität. Gleichzeitig musste eine durchgängige Stringenz im Konzept gewahrt werden, die mit jedem weiteren Dashboard schwieriger zu bewältigen war. Mit fortschreitendem Projektverlauf offenbarten sich zunehmend Konflikte und Abwägungsentscheidungen, welche in der Folge weitere Pfadabhängigkeiten nach sich zogen und an anderer Stelle zu Zielkonflikten führten.²⁸ Um dem Gesamtkonzept weiter Rechnung zu tragen und dennoch auf die sich verändernden Anforderungen und Rahmenbedingungen reagieren zu können, war es notwendig, einige der ursprünglichen Konzeptanforderungen und Annahmen zu überschreiten, anzupassen oder gänzlich neu zu definieren. Dies verlangte eine sorgfältige Abwägung, welche Grundziele im Vergleich zu anderen als vorrangig zu betrachten waren. Diese Entscheidungen reflektieren die kontinuierlichen Abwägungsprozesse und Anpassungen, die erforderlich waren, um ein kohärentes und benutzerfreundliches Dashboard zu erstellen, das sowohl informative als auch bildungsfördernde Ziele verfolgt. Zum besseren Verständnis sollen hierzu einige dieser Zielkonflikte beispielhaft angeführt werden:

Gemäß dem Arbeitsauftrages sollte ein Dashboard zur Visualisierung des Einflusses des Klimawandels auf Wasserhaushalt, Böden und Vegetation entwickelt werden. Um eine kohärente Strukturierung der Informationen zu gewährleisten und diese in ein möglichst sinnlogisches Layout einzubinden wurden daher zunächst grundlegende Basis-Kategorien definiert. Die ersten Prototypen der Anwendung wiesen hierzu noch vier Grundkategorien (Klimatologie, Hydrologie, Pedologie

28 Dies lässt sich mit einem Sudoku-Spiel vergleichen, bei dem die Platzierung der ersten Zahlen noch relativ leicht fällt. Doch mit jeder weiteren Zahl, die gesetzt wird, werden die Auswahlmöglichkeiten zunehmend begrenzter und die Entscheidungen komplexer.

und Ökologie) auf.²⁹ Im Verlauf der Weiterentwicklung der Dashboard-Anwendung wurde jedoch die Kategorie Ökologie entfernt. Diese Entscheidung begründete sich in den auftretenden Konflikten zwischen der Darstellbarkeit der verfügbaren Datensätze, die abwechslungsreiche und einzigartige Interaktionsmöglichkeiten bieten sollten, und dem Mangel an geeigneten Visualisierungsmethoden und Interaktionsinstrumenten. Es stellte sich heraus, dass für die Kategorie Ökologie ein Großteil der typischerweise in Betracht kommenden Darstellungs- sowie Interaktionsinstrumente bereits in anderen Bereichen des Dashboards Verwendung fanden. Um dennoch den Einfluss des Klimawandels auf die Vegetation adäquat abzubilden, ohne die Übersichtlichkeit und Nutzerfreundlichkeit des Dashboards zu beeinträchtigen, wurde beschlossen, die ökologischen Aspekte in die verbleibenden Kategorien zu integrieren. In den frühen Phasen des Projekts war zudem vorgesehen, dass jede Überkategorie drei Unterkategorien enthalten sollte. Jedoch führten die bereits erwähnten Konflikte, insbesondere hinsichtlich der Darstellbarkeit und des Mangels an geeigneten Visualisierungsmethoden, zu einer Revision dieser Struktur. Aus Gründen der Stringenz und Kohärenz wurde beschlossen, die Anzahl der Unterkategorien auf zwei zu reduzieren. Diese strategische Neuausrichtung führte zu signifikanten Veränderungen in der Struktur und Präsentation des Dashboards. Einige der bereits entwickelten Prototypen mussten infolgedessen entweder anderen Sektionen zugeordnet oder gänzlich aus dem Projekt entfernt werden.

Darüber hinaus wurde eine neue Kategorie namens 'Einführung' eingeführt, die als Startpunkt und Tutorial-Seite der Anwendung fungieren sollte. Diese neue Kategorie hatte das Ziel, Nutzern einen Überblick über die Thematik zu bieten und fokussierte sich dabei auf das Klimagas CO₂. Diese Anpassung spiegelte die Notwendigkeit wider, das Dashboard nicht nur als ein reines Informationswerkzeug, sondern auch als ein Bildungsinstrument zu gestalten, das den Benutzern grundlegende Konzepte und Zusammenhänge des Klimawandels näherbringt. Durch die Einführung dieser Kategorie sollte insbesondere das Bewusstsein für die Rolle von CO₂ im Kontext des Klimawandels geschärft werden, obwohl CO₂ selbst keinen unmittelbaren Einfluss auf den Wasserhaushalt und die Böden hat. Die Wahl fiel auf CO₂, da es die Kriterien für eine abwechslungsreiche Visualisierung und Interaktion, angenommene Relevanz für den Nutzer sowie den Bildungsauftrag hinsichtlich der wissenschaftlichen Methode besser erfüllte als frühere Prototypen der Kategorie Ökologie, welche sich etwa mit dem Korallensterben oder städtischen Wärmeinseln auseinandersetzten (typische GIS Widgets waren hierzu noch speziellen technischen

²⁹ Der Name der Anwendung "Klima-Kompass-Navigator" ist ein Rudiment aus dieser früheren Entwicklungsphase.

Herausforderungen unterworfen (Siehe hierzu das Unterkapitel [Online Deployment](#)). Trotz dieser umfassenden Anpassungen ließ es sich nicht vermeiden, dass bestimmte Visualisierungsmöglichkeiten, wie der häufige Gebrauch von Diagrammen, mehrfach verwendet wurden, was zu einer gewissen Redundanz und teilweise künstlichen Zuordnung in der Organisationsstruktur der Dashboard-Kategorien führte.

Die Entscheidung, bestimmte Schwerpunkte innerhalb des Dashboards zu setzen und andere Themenbereiche zu reduzieren oder sogar gänzlich zu entfernen, war das Ergebnis intensiver Überlegungen und Abwägungen. Die Entfernung der Überkategorie Ökologie, die Reduktion der Anzahl der Unterkategorien in jeder Überkategorie und die Einführung von CO₂ waren strategische Entscheidungen, die darauf abzielten, die Kohärenz, Benutzerfreundlichkeit und Bildungsrelevanz des Dashboards zu maximieren. Es stellt sich die Frage, ob die Gewichtung einzelner Schwerpunkte so sinnvoll war. Die Entscheidungen wurden jedoch nicht leichtfertig getroffen und eine andere Gewichtung hätte schließlich wieder zu anderen Limitationen an anderer Stelle geführt.³⁰ Die grundlegende Frage, die sich aus diesen Entscheidungsprozessen ergibt, betrifft die Angemessenheit des ursprünglichen Ansatzes angesichts der Komplexität des Themas und der technischen sowie konzeptuellen Herausforderungen, die im Laufe der Projektentwicklung auftraten. Rückblickend lässt sich argumentieren, dass das anfänglich entwickelte Konzept im Zuge einer grundlegenden Machbarkeitsstudie möglicherweise zu ambitioniert war, um durchgängig und allumfassend auf ein Projekt dieses Umfangs angewendet werden zu können.

5.2. Bewertung der gewählten Infrastruktur

Trotz der im vorherigen Abschnitt dargelegten Kritikpunkte und den Herausforderungen bei der Umsetzung des gewählten Konzepts, zeigt sich auf technischer Ebene, dass die Durchführung des Projekts aus Sicht einer allgemeinen Machbarkeitsstudie durchaus erfolgreich war. Die meisten Schwierigkeiten, die im Laufe der Projektentwicklung auftraten, waren in der Tat auf das zugrunde liegende Konzept zurückzuführen und weniger auf technische Unzulänglichkeiten oder Einschränkungen. Rein technisch betrachtet ermöglichten die Grundkomponenten von Plotly Dash sowie verschiedene Erweiterungen und zahlreiche Python-Bibliotheken zur Datenverarbeitung eine

³⁰ Die Entscheidung einen modularen Ansatz beim Aufbau zu wählen, minimierte die Kosten solcher Umstrukturierung. Gerade in späteren Projektphasen können solche rückwirkenden Anpassungen teuer sein. Nichtsdestotrotz hätte ein pragmatischeres Konzept potenziell Ressourcen freigesetzt, welche so für nachträgliche Anpassungsmaßnahmen aufgewendet werden mussten.

erfolgreiche Umsetzung aller geplanten Funktionen und Visualisierungen des Dashboards. Die Flexibilität und Leistungsfähigkeit dieser Technologien boten eine solide Infrastruktur, auf der die komplexen Anforderungen des Projekts realisiert werden konnten.

Die Verwendung vorgefertigter Visualisierungs- und Steuerungselemente, gekoppelt mit einer zugänglichen Funktionslogik und umfangreicher Online-Dokumentation, ermöglichten es auch mit zunächst nur geringerer Erfahrung, schnell einfache Dashboards zu entwickeln. Diese Aspekte, begleitet durch eine aktive Open Source Community, zahlreichen Tutorials und einer guten Dokumentation, senken die Einstiegshürden in der Entwicklung interaktiver Anwendungen erheblich und fördern ein experimentelles Vorgehen, bei dem durch direktes Ausprobieren und Anpassen schnell Lernerfolge erzielt werden können.

Bei größeren Projekten, kann die Situation jedoch schnell unübersichtlich werden, was eine sorgfältige und gut durchdachte Projektstruktur erfordert. Ohne eine klare und skalierbare Projektstruktur besteht die Gefahr, dass der Code schnell unübersichtlich und schwer zu handhaben wird, wodurch die Wartung, Erweiterung und Skalierung des Projekts erschwert werden. Eine gut organisierte Projektstruktur hilft dabei, die verschiedenen Komponenten und Module des Dashboards logisch zu organisieren, Abhängigkeiten zu minimieren und die Wiederverwendbarkeit von Code zu maximieren. In der Praxis bedeutet dies, dass bereits in der frühen Phase der Konzeptualisierung und Planung eines Dashboard-Projekts Überlegungen zur technischen Architektur, zur Modularisierung des Codes und zur Datenverwaltung angestellt werden müssen. Diese strategische Planung ermöglicht es, spätere technische Herausforderungen zu antizipieren und effiziente Lösungen für die Verwaltung der Projektentwicklung zu implementieren.

Es fehlt zwar ein direkter Vergleich zu anderen Anbietern von Dashboard-Frameworks, aber für kleinere Projekte könnten out-of-the-box Frameworks wie Tableau, Microsoft Power BI oder Google Data Studio vermutlich benutzerfreundlicher sein. Diese Tools sind speziell dafür konzipiert, den Prozess der Erstellung von Dashboards und die Visualisierung von Daten zu vereinfachen, indem sie umfangreiche, vorgefertigte Elemente und eine intuitive Benutzeroberfläche bieten. Sie ermöglichen es auch Nutzern ohne tiefgreifende Programmierkenntnisse, schnell und effizient ansprechende und informative Dashboards zu erstellen.

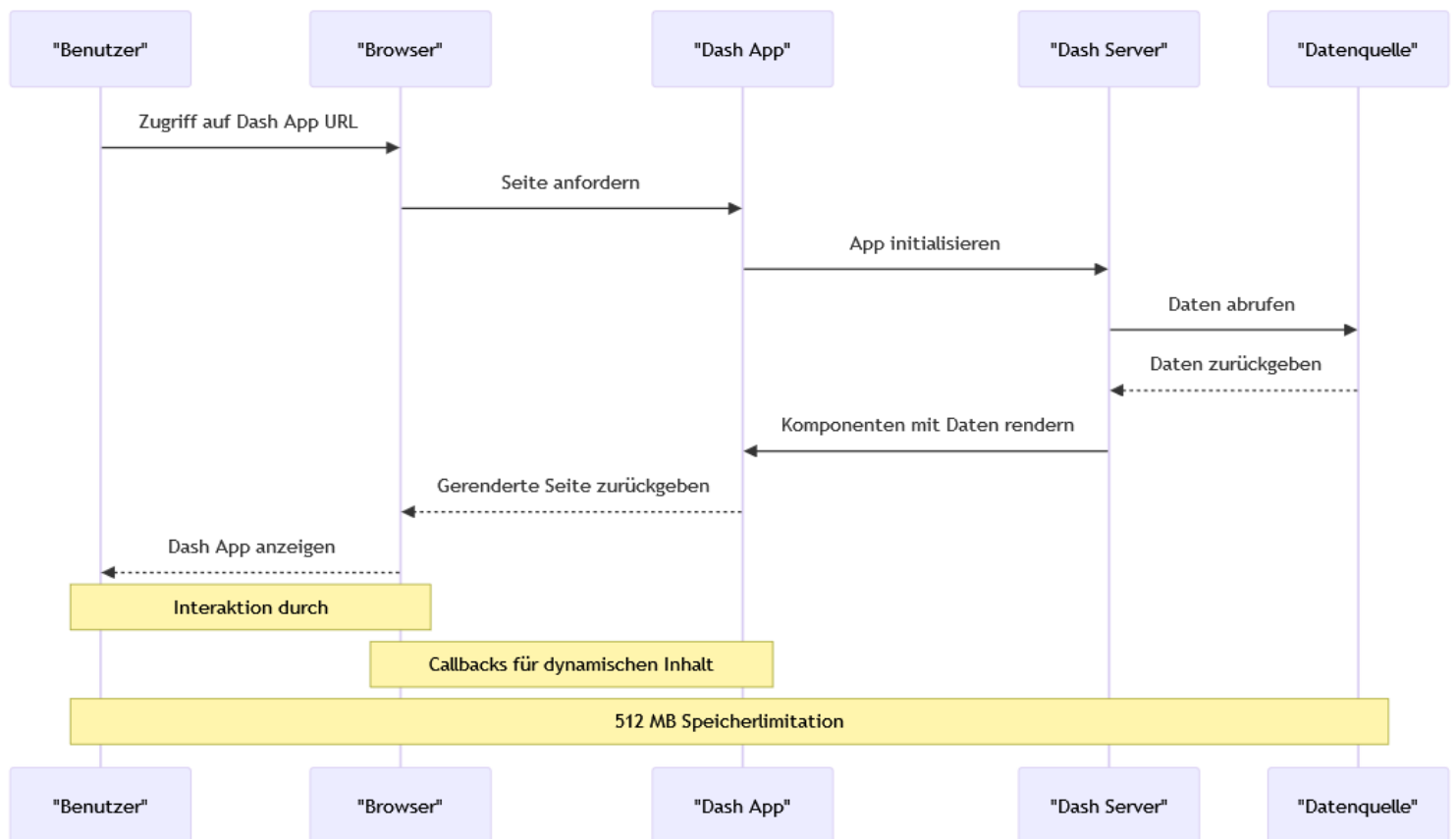
Allerdings kommt diese Benutzerfreundlichkeit oft auf Kosten der Flexibilität und der Leistungsfähigkeit. Während Plotly Dash und ähnliche, auf Python basierende Frameworks Entwicklern die Möglichkeit geben, nahezu jede Vorstellung eines Dashboards zu realisieren und

dabei komplexe Datenverarbeitungslogiken zu integrieren, bieten die genannten out-of-the-box Lösungen nur begrenzte Anpassungsmöglichkeiten jenseits ihrer vorgefertigten Funktionsumfänge. Die Entscheidung für ein bestimmtes Tool oder Framework hängt daher stark von den spezifischen Anforderungen des Projekts ab, einschließlich der Komplexität der Daten, der gewünschten Interaktivität und der Notwendigkeit, benutzerdefinierte Funktionen zu implementieren. Für Projekte, die eine hohe Maßanfertigung, komplexe Datenmanipulationen oder spezialisierte Visualisierungen erfordern, bietet ein Framework wie Plotly Dash die notwendige Mächtigkeit und Anpassungsfähigkeit, auch wenn dies eine steilere Lernkurve und einen höheren Entwicklungs- und Wartungsaufwand mit sich bringt. In solchen Fällen kann die Investition in ein flexibleres und leistungsfähigeres Tool gegenüber benutzerfreundlicheren, aber weniger anpassungsfähigen Lösungen gerechtfertigt sein.

5.3. Technische Hürden

Die größte technische Limitation während der Umsetzung des Projekts ergab sich aus dem Online-Deployment. Dies betrifft die Bereitstellung und den Betrieb des Dashboards im Internet, was eine wesentliche Komponente für die Zugänglichkeit und Nutzbarkeit des Projekts für ein breites Publikum darstellt. Die Herausforderungen in diesem Bereich umfassen eine Vielzahl von Aspekten, darunter Hosting-Optionen, Serverkonfiguration, Skalierbarkeit und die Integration mit bestehenden Datenquellen und APIs.

Eine besondere Herausforderung an die Datengrundlage stellte dabei das Ressourcenmanagement hinsichtlich des Online Deployments der Anwendung dar. Hosting-Services bieten häufig einen gratis Service zum Testen ihrer grundlegenden Funktionalitäten an, beschränken hierbei aber den Verfügbaren Arbeitsspeicher. Im Falle des für dieses Projekt gewählten Anbieters Render [104], war der verfügbare Arbeitsspeicher auf 512 MB restriktiert. Dies ist besonders bei datenintensiven, interaktiven Dashboardanwendungen problematisch, da neben der Initialisierung der Anwendung, durch die Interaktion mit dem Nutzer während der Laufzeit ein kontinuierlicher Datenfluss stattfindet. Abbildung 11 veranschaulicht diesen Sachverhalt.



✓	Server healthy	February 20, 2024 at 5:33 PM
!	Server unhealthy	Ran out of memory (used over 512MB) while running your code. February 20, 2024 at 5:30 PM
✓	Server healthy	February 20, 2024 at 5:28 PM
!	Server unhealthy	Ran out of memory (used over 512MB) while running your code. February 20, 2024 at 5:26 PM
✓	Server healthy	February 20, 2024 at 5:26 PM
!	Server unhealthy	Ran out of memory (used over 512MB) while running your code. February 20, 2024 at 5:25 PM
✓	Server healthy	February 20, 2024 at 5:25 PM
!	Server unhealthy	Ran out of memory (used over 512MB) while running your code. February 20, 2024 at 5:24 PM

Abbildung 11: Sequenzdiagramm Datenfluss (eigene Darstellung)

In der Folge können zu große Anwendungen nicht initialisiert werden. Außerdem laden Anwendungen auf Grundlage speicherintensiverer Datentypen wie shp-Dateien nur langsam. Schließlich muss der Server auch bei Anwendungen welche den Speicherrestriktionen genügen aufgrund von Speicherüberlauf durch Nutzerinteraktionen regelmäßig neu initialisiert werden. Vergleiche hierzu auch Abbildung 12.

Abbildung 12: restart due to memory overflow (Screenshot)

Um innerhalb dieser engen Speicherbeschränkungen effizient arbeiten zu können, war die Auswahl der verwendeten Datensätze von vornherein strengen Limitationen unterworfen, sowie deren Verarbeitung entsprechend zu planen. Eine unmittelbare Konsequenz dieser Einschränkungen war z.B. die Notwendigkeit, Datensätze grundlegend in ihrer Größe zu beschränken. Dies erforderte eine Reihe von strategischen Entscheidungen, darunter die Auswahl von Datentypen, die von Natur aus weniger Speicherplatz benötigen, die Beschneidung der Datensätze auf die signifikantesten Datenpunkte, sowie die Komprimierung und Konvertierung von Datensätzen, um ihren Speicherbedarf weiter zu minimieren. Trotz umfangreichen Ressourcenmanagements wird ein Speicherlimit von nur 512 MB durch kontinuierliche Nutzerinteraktionen jedoch schnell erreicht. Dieses Limit stellt in der Tat eine signifikante Einschränkung dar, insbesondere für datenintensive Anwendungen wie GIS-basierte Dashboards. Obwohl es zahlreiche Möglichkeiten gibt, den Speicherbedarf zu begrenzen – etwa durch die Reduktion der Detailtiefe, die Wahl speicher-effizienter Formate, und verschiedene Techniken der Datenkompression –, können bestimmte Datentypen schlichtweg nicht dargestellt werden.³¹ Viele potenzielle Dashboard-Ideen aus dem GIS-Bereich waren daher aufgrund ihrer Rechenintensität schlichtweg nicht umsetzbar. Die Entscheidung, das Projekt so zu konzipieren, dass es (kostenlos) online verfügbar ist, zog erhebliche Einschränkungen nach sich. Da der Klima-Kompass-Navigator auch einfach lokal und somit ohne die genannten Arbeitsspeicherrestriktionen ausgeführt werden kann, war diese konzeptuelle Entscheidung und das Festhalten daran, rückblickend betrachtet eine klare Fehlentscheidung.

31 Aus diesem Grund handelt es sich bei den Satellitenbildern des Batagaika-Kraters auch nicht um die Originaldaten, sondern schlichtweg um PNG-Versionen derselben. Diese Anpassung war notwendig, um die Anwendung innerhalb des engen Speicherlimits funktionsfähig zu halten, ohne dabei auf visuelle Darstellungen verzichten zu müssen.

5.4. Fazit und Ausblick

Abschließend lassen sich die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Durchführung dieses Projekts in mehreren Schlüsselpunkten zusammenfassen, die nicht nur für die Bewertung dieser Untersuchung, sondern auch für die Ausrichtung zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von Bedeutung sein können.

Die Durchführung des Projekts als Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass die gewählte Infrastruktur und die angewandte Methodik zur Umsetzung den gestellten Anforderungen im Großen und Ganzen gerecht wurden. Die Nutzung von Plotly Dash in Kombination mit verschiedenen Python-Bibliotheken für Datenverarbeitung bot eine robuste Grundlage, um ein interaktives Dashboard zu erstellen, das komplexe Informationen zum Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt, den Boden und die Vegetation darstellt. Die Entscheidung für eine modulare Designstrategie erwies sich als besonders vorteilhaft, da sie eine flexible Anpassung und Erweiterung des Dashboards ermöglichte, ohne dass dabei das Gesamtkonzept oder die Benutzerfreundlichkeit beeinträchtigt wurden. Das modulare Setup, das von Beginn an für eine einfache Austauschbarkeit von Layout, Komponenten und anderen Elementen konzipiert wurde, macht den Klima-Kompass-Navigator zu einer potenziellen Blaupause für zukünftige Projektprototypen. Für größere Projekte oder solche mit grundlegend anderem Schwerpunkt, könnte jedoch eine Anpassung der Grundstruktur notwendig sein, um zusätzliche Komponenten, Designs und Funktionen zu integrieren. Dies könnte beispielsweise durch die Einführung zusätzlicher Module zur Auslagerung spezifischer Funktionen oder durch die Weiterentwicklung des Datenmanagements erfolgen, um den Anforderungen an Skalierbarkeit und Interaktivität noch besser gerecht zu werden. Die endgültige Wahl der Technologien und Designansätze ist dabei nicht in Stein gemeißelt, sondern sollte flexibel genug sein, um sich den sich ändernden Anforderungen und Rahmenbedingungen anzupassen. Im Falle des Klima-Kompass-Navigators hat sich die gewählte Strategie bewährt.

Die meisten Schwierigkeiten, die im Laufe der Projektentwicklung auftraten, waren in der Tat auf das zugrunde liegende Konzept zurückzuführen und weniger auf technische Unzulänglichkeiten oder Einschränkungen. Dies unterstreicht, dass die Herausforderungen hauptsächlich in der konzeptionellen Phase angesiedelt waren, bei der es galt, ein komplexes Thema wie den Klimawandel in einer für das breite Publikum verständlichen und zugleich wissenschaftlich fundierten Weise zu visualisieren. Die Entscheidungen, die in dieser frühen Phase getroffen wurden, hatten weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Projektverlauf und führten zu den beschriebenen Anpassungen und Überarbeitungen. Dieses Erkenntnis ist besonders wertvoll, da sie

aufzeigt, dass bei zukünftigen Projekten ein besonderes Augenmerk auf die Konzeptphase gelegt werden muss, um ähnliche Schwierigkeiten zu vermeiden oder zumindest zu minimieren.

Eine der wesentlichen Lehren ist, dass eine präzisere Fokussierung (etwa durch einen engeren Rahmen hinsichtlich der gewählten Zielgruppe) und Schwerpunktsetzung (etwa der Fokus auf spezifischere Projektziele wie ein expliziterer Fokus auf GIS- Daten, didaktische Gesichtspunkte oder Lösungs- bzw. Copingstrategien (Vgl. Davidson & Kemp, 2023 [105]) für den Klimawandel, etc.) zu Beginn des Projekts dazu beitragen können, den Projekterfolg zu sichern und eine effizientere Umsetzung zu gewährleisten. Gerade hier besteht noch großes Potential für zukünftige Weiterentwicklungen.

Neben den Konzeptionellen Rahmen, erwies sich die Entscheidung, das Online Deployment parallel zur Entwicklung des Klima-Kompass-Navigators zu betreiben, retrospektiv als eine der größten Herausforderungen des Projekts. Die Beschränkung auf die kostenfreien Leistungen eines Hosting-Anbieters führte zu einer ganzen Reihe von Limitationen, die die Entwicklung und Skalierbarkeit des Dashboards unnötig einschränkten. Diese Vorgehensweise resultierte in einem Design, das stark von den Spezifikationen und Beschränkungen von kostenfreien Hosting-Services abhängig war.

Für zukünftige Projekte wäre eine getrennte Betrachtung von Entwicklung und Online-Deployment daher sicherlich sinnvoll. So kann sich die Entwicklung zunächst voll und ganz auf die Erstellung der bestmöglichen Anwendung konzentrieren, ohne dabei durch Kompromisse hinsichtlich technischer Beschränkungen durch einen spezifischen Hosting-Dienstes eingeschränkt zu sein und erst in einem späteren Schritt eine geeignete Hosting-Lösung zu evaluieren und auszuwählen. Die Entwicklung hätte sich dann voll und ganz auf die Erstellung der bestmöglichen Anwendung konzentrieren können, ohne dabei von vornherein durch die technischen und ökonomischen Beschränkungen eines spezifischen Hosting-Dienstes eingeschränkt zu werden.

Zukünftige Projekte könnten von einer Meta-Studie profitieren, die verschiedene Hosting-Dienste und Webframeworks hinsichtlich ihrer Eignung für GIS-Anforderungen systematisch bewertet, um optimale Technologien für die Entwicklung und Bereitstellung GIS-basierter Anwendungen zu identifizieren.

5.5. Abschließende Betrachtung

Es gibt in der Wissenschaftskommunikation ein theoretisches Instrument zur Identifizierung und Klassifizierung häufig verwendeter Techniken die genutzt werden um wissenschaftliche Erkenntnisse zu untergraben. Dieses Instrument ist unter dem Namen FLICC-Theorie bekannt. Es handelt sich hierbei um ein Akronym:

- **Fake Experts:** Die Stützung auf scheinbare Experten, die tatsächlich keine relevante Expertise besitzen.
- **Logical Fallacies:** Die Verwendung von Fakten in irreführenden oder falschen Zusammenhängen.
- **Impossible Expectations:** Das Stellen von unerfüllbaren Anforderungen an die Wissenschaft.
- **Cherry Picking:** Die selektive Präsentation von Daten, die die eigene These unterstützen.
- **Conspiracy Theories:** Das Infragestellen von Fakten durch die Behauptung geheimer Absprachen.

Auch wenn das im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte Dashboard mit bestem Gewissen hinsichtlich wissenschaftlicher Redlichkeit entwickelt wurde, ist nicht auszuschließen, dass auch hierbei einige dieser Punkte unbewusst zum Tragen kommen könnten. Es ist daher essenziell, dass verantwortungsbewusste Wissenschaftler, Wissenschaftskommunikatoren und Dashboardentwickler, stets eine kritische Selbstreflexion hinsichtlich der angewandten Methoden und Präsentationen üben. Dies schließt ein wie wir Daten auswählen, interpretieren und darstellen, um sicherzustellen, dass wir nicht versehentlich in die Falle der von uns identifizierten Desinformationstechniken tappen. Es gilt, eine Balance zu finden zwischen der Vermittlung komplexer wissenschaftlicher Erkenntnisse auf eine zugängliche Weise und der Aufrechterhaltung höchster Standards wissenschaftlicher Genauigkeit und Objektivität. Selbst bei bester Absicht können Fehler oder Fehlinterpretationen auftreten, die die Glaubwürdigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse untergraben könnten.

Dies zeigt sich insbesondere in den komplexen Herausforderungen, mit denen sich die Informationsvermittlung in den Wissenschaften in einer zunehmend digitalisierten, schnelleren und teilweise postfaktischen Welt konfrontiert sieht. In der heutigen Aufmerksamkeitsökonomie sind neue Ansätze zur Kommunikation wissenschaftlicher Erkenntnisse erforderlich. Diese müssen sowohl der Geschwindigkeit der Informationsverbreitung als auch der Notwendigkeit einer kritischen Bewertung von Quellen und Fakten in der Öffentlichkeit gerecht werden. Im Zentrum

steht hierbei auch, eine Balance zwischen sachlicher Genauigkeit und der Erreichung einer breiteren Öffentlichkeit zu finden. Diese Überlegungen unterstreichen die Komplexität und die inhärenten Herausforderungen, die sich in der Schnittmenge von Wissenschaftskommunikation, der Entwicklung interaktiver Dashboards und der Nutzung von Geoinformations- und Data Science-Technologien ergeben.

Gleichzeitig zeigt sich jedoch auch, dass die Adressierung dieser mannigfaltigen Problemstellungen zwar herausfordernd, jedoch keinesfalls unmöglich ist. Der Weg von der Erkenntnis zur Lösung ist gepflastert mit interdisziplinärer Forschung, die zeigt, wie verschiedene Wissensbereiche zusammenkommen, um auf den Klimawandel zu reagieren.

Die Umweltwissenschaften haben das Problem identifiziert und liefern einen beständigen Strom an Daten. Wo vor einem Jahrzehnt noch ein Team an Spezialisten für die Entwicklung von Umweltstudien und -simulationen notwendig waren, stehen heute Frameworks und andere Technologien zur Verfügung, die es Individuen erlauben, auf Grundlage dieser Daten eigenständig Analysen durchzuführen oder Modelle zu erstellen. Sozialwissenschaften leiten unser Verständnis für gesellschaftliche Prozesse. Die Politikwissenschaft erarbeitet mögliche Formate zur Begleitung von Transformationsprozessen und Umfragen zeigen, dass der Klimawandel in der Wahrnehmung der Menschen zunehmend als eine der dringlichsten Herausforderungen unserer Zeit erkannt wird.

Die Voraussetzungen für den nötigen Wandel scheinen demnach gegeben. Trotzdem bleibt der Fortschritt hinter den Erwartungen zurück und es bleibt die Frage, weshalb sich viele Menschen eher in Apathie oder Leugnung flüchten, anstatt sich aktiv für Lösungen zu engagieren.

Eine mögliche Antwort darauf gab einst der Soziologen Niklas Luhmann. Laut ihm "ist für die Gesellschaft nur das wirklich, was kommuniziert wird" (Vgl. Luhmann, 1998 [106]).

Genau hierbei können die Geowissenschaften einen zentralen Beitrag leisten.

The time is now.

Literaturverzeichnis

- 1: Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., ... & Skuce, A. (2013): Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. In: Environmental Research Letters, 8(2), 024024. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024> (03.03.2024).
- 2: IPCC. (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Verfügbar unter: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (03.03.2024).
- 3: NASA (2023). NASA Announces Summer 2023 Hottest on Record. Verfügbar unter: <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-announces-summer-2023-hottest-on-record> (03.03.2024).
- 4: Carbon Brief. (o.J.). Mapped: How climate change affects extreme weather around the world. Verfügbar unter: <https://www.carbonbrief.org/mapped-how-climate-change-affects-extreme-weather-around-the-world/> (03.03.2024).
- 5: Tagesschau.de. (2023, April 6). ARD-DeutschlandTrend: Klimawandel als wichtigstes Problem. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/inland/deutschlandtrend/deutschlandtrend-3339.html> (03.03.2024).
- 6: Tagesschau.de. (2023, Oktober 13). ARD-DeutschlandTrend: Migrationspolitik für Mehrheit am wichtigsten. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/inland/deutschlandtrend/deutschlandtrend-moma-102.html> (03.03.2024).
- 7: Tooze, A. (2022). Zeitenwende oder Polykrise? Das Modell Deutschland auf dem Prüfstand. Schriftenreihe der Bundeskanzler-Willy-Brandt-Stiftung, Heft 36. Verfügbar unter: <https://willy-brandt.de/wp-content/uploads/bwbs-h36-online.pdf> (03.03.2024).
- 8: Krämer, S. (Hrsg.). (1998). Medien, Computer, Realität: Wirklichkeitsvorstellungen und neue Medien. 1. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp. ISBN 978-3-518-28979-2.
- 9: Ernst, C., & Schröter, J. (2020). Zukünftige Medien. Springer Fachmedien Wiesbaden. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30059-3> (03.03.2024).
- 10: Aust, S. (2019, Juni 1). Warten wir doch, bis der Klimahype abgeklungen ist. Die Welt. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/debatte/kommentare/plus194542997/Klimawandel-Warten-wir-doch-bis-der-Klimahype-abgeklungen-ist-Stefan-Aust.html> (03.03.2024).
- 11: COMPACT-Magazin. 2020. Die neuen 20er: Chaos oder neue Ordnung? Verfügbar unter: <https://www.compact-shop.de/shop/compact-magazin/compact-1-2020-die-neuen-20er/> (03.03.2024).
- 12: Daniljuk, M. (2016). Die neuen Gatekeeper: Mit Apple, Google und Facebook in den kybernetischen Kapitalismus. Standpunkte, (01/2016). Rosa-Luxemburg-Stiftung. Verfügbar unter: https://hamburg.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Standpunkte/Standpunkte_01-2016.pdf (03.03.2024).
- 13: Rohringer, S. L. (2019). Mit diesem Ergebnis hat niemand gerechnet - Chancen und Grenzen von Clickbaiting im Online-Journalismus. Masterarbeit, TH Köln. Verfügbar unter: <https://publicscologne.th-koeln.de/frontdoor/index/index/docId/1515> (03.03.2024).
- 14: Westdeutscher Rundfunk (WDR); Infratest dimap (2023). Glaubwürdigkeit der Medien 2023: Eine repräsentative Umfrage im Auftrag des Westdeutschen Rundfunks. Verfügbar unter: https://presse.wdr.de/plounge/wdr/programm/2023/12/_pdf/Glaubwuerdigkeit_der_Medien_2023.pdf (03.03.2024).
- 15: Wong, E. (2016, November 18). Trump Has Called Climate Change a Chinese Hoax. Beijing Says It Is Anything But. The New York Times. Verfügbar unter: <https://www.nytimes.com/2016/11/19/world/asia/china-trump-climate-change.html> (03.03.2024).
- 16: Vereinte Nationen. (1992). Agenda 21. Verfügbar unter: https://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf (03.03.2024).
- 17: Schulte von Drach, M. C. (2012, Februar 8). "Kommunistische Umverteilung" durch die Vereinten Nationen. Süddeutsche Zeitung. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/politik/verschwoerungstheorien-der-republikaner-kommunistische-umverteilung-durch-die-un-1.1276758> (03.03.2024).
- 18: Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (2022). Wissenschaftsbarometer 2022: Anhaltend hohes Vertrauen in Wissenschaft und Forschung. Verfügbar unter <https://www.aif.de/news/details/wissenschaftsbarometer-2022-anhaltend-hohes-vertrauen-in-wissenschaft-und-forschung.html> (03.03.2024).
- 19: Supran, G., Rahmstorf, S., & Oreskes, N. (2023). Assessing ExxonMobil's global warming projections. Science, 379(6628). Verfügbar unter <https://doi.org/10.1126/science.abk0063> (03.03.2024).
- 20: Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ). (2023). Index zur Einflussnahme der Tabakindustrie in Deutschland. Verfügbar unter https://www.dkfz.de/de/krebspraevention/Downloads/pdf/Buecher_und_Berichte/2023_Index-Einflussnahme-Tabakindustrie-Deutschland.pdf (03.03.2024).
- 21: Kepplinger, H.M. (1998). Der Nachrichtenwert der Nachrichtenfaktoren. In: Holtz-Bacha, C., Scherer, H. (Hrsg.), Wie die Medien die Welt erschaffen und wie die Menschen darin leben. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag. Verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-3-322-90440-9_3 (03.03.2024).
- 22: McLuhan, M., & Fiore, Q. (1967). The medium is the message. New York, NY: Bantam Books.
- 23: Breuer, Stephan. (2012). Über die Bedeutung von Authentizität und Inhalt für die Glaubwürdigkeit von Webvideo-Formaten in der Wissenschaftskommunikation. In: C. Y. Robertson-von Trotha, J. Muñoz Morcillo (Hg.), Öffentliche Wissenschaft und Neue Medien: Die Rolle der Web 2.0-Kultur in der Wissenschaftsvermittlung (S. 101-112). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. DOI: 10.5445/KSP/1000027942
- 24: Dohm, L., Peter, F., & van Bronswijk, K. (Hrsg.). (2021). Climate Action - Psychologie der Klimakrise (1. Aufl.). Gießen: Psychosozial-Verlag.
- 25: Evans, J. S. B. T. (2016). Reasoning, Biases and Dual Processes: The Lasting Impact of Wason (1960). Quarterly Journal of Experimental Psychology, 69(10), 2076-2092. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.914547> (03.03.2024).

- 26: Terren, L., & Borge-Bravo, R. (2021). Echo Chambers on Social Media: A Systematic Review of the Literature. *Review of Communication Research*, 9. ISSN: 2255-4165. Verfügbar unter <https://www.rcommunicationr.org/index.php/rcr/article/view/16> (03.03.2024).
- 27: Northrop Grumman. (n.d.). Complex Systems Theory: How Science Solves Social Problems. Now. Powered by Northrop Grumman. Abgerufen am [Zugriffsdatum] von <https://now.northropgrumman.com/complex-systems-theory-how-science-solves-social-problems>
- 28: Oreskes, N., & Conway, E. M. (2010). Defeating the merchants of doubt. *Nature*, 465(7299), 686–687. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1038/465686a> (03.03.2024).
- 29: Statistisches Bundesamt (Destatis). (o.J.). Startseite. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html (03.03.2024).
- 30: Vereinte Nationen. (o.J.). UNdata. Abgerufen am Verfügbar unter <https://data.un.org/> (03.03.2024).
- 31: Weltbank. (o.J.). World Bank Open Data. Verfügbar unter <https://data.worldbank.org/> (03.03.2024).
- 32: Arnold, M., Goldschmitt, M., & Rigotti, T. (2023). Dealing with information overload: a comprehensive review. *Frontiers in Psychology*, 14:1122200. Verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1122200>. ((03.03.2024).)
- 33: Ishikawa, T., & Newcombe, N. S. (2021). Why spatial is special in education, learning, and everyday activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 6(20). <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00274-5> (03.03.2024).
- 34: Kellerman, A. (1989). Time, space, and society. (GeoJournal Library, Band 11). Dordrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-0123-4.
- 35: Ishikawa, T., & Newcombe, N. S. (2021). Why spatial is special in education, learning, and everyday activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 6, 20. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00274-5>. (03.03.2024).
- 36: Gonzalez-Barahona, J. & Robles, G. (2013). Trends in Free, Libre, Open Source Software Communities: From Volunteers to Companies / Aktuelle Trends in Free-, Libre-, und Open-Source-Software-Gemeinschaften: Von Freiwilligen zu Unternehmen. *it - Information Technology*, 55(5), 173-180. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1515/itit.2013.1012> (03.03.2024).
- 37: Ketterman, Shane. "Top Data Visualization Examples and Dashboard Designs." Toptal. Verfügbar unter URL: <https://www.toptal.com/designers/dashboard-design/top-data-visualization-dashboard-examples> (03.03.2024).
- 38: Few, S. (2003). Information dashboard design. S. Few. Verfügbar unter <http://public.magendanz.com/Temp/Information%20Dashboard%20Design.pdf> (03.03.2024).
- 39: Bundesministerium des Innern und für Heimat. (o.D.). Informationsfreiheitsgesetz. Verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/open-government/informationsfreiheitsgesetz/informationsfreiheitsgesetz-node.html>. (03.03.2024)
- 40: Stadt Münster. (2024). Klimadashboard Münster. Verfügbar unter <https://klimadashboard.ms/> (03.03.2024).
- 41: Umweltbundesamt. (2024). Dashboard Klimadaten. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/klima/dashboard> (03.03.2024).
- 42: Klimadashboard Deutschland. (2024). Gesellschaftliche Aspekte der Klimakrise. Abgerufen von <https://klimadashboard.de/gesellschaft> (03.03.2024).
- 43: Poltorak, G. (2024). Das Klima-Dashboard. How Green Works. Verfügbar unter <https://www.how-green-works.de/einstieg-nachhaltigkeit/news/klima-dash-board-135> (03.03.2024).
- 44: Oğuz, S. (2023, 10. Dezember). Mapped: Global Temperature Rise by Country (2022-2100P). Visual Capitalist. Verfügbar unter <https://www.visualcapitalist.com/mapped-global-temperature-rise-by-country/> (03.03.2024).
- 45: Gerber, D. (o.D.). Klimadashboard Sachsen. Verfügbar unter <https://klimadashboard.danielgerber.eu/home> (03.03.2024).
- 46: NASA. (o.J.). EOSDIS Worldview. Verfügbar unter <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (03.03.2024).
- 47: Our World in Data. (o.J.). Our World in Data. Verfügbar unter <https://ourworldindata.org/> (03.03.2024).
- 48: Victor, B. (2011). Explorable Explanations. Verfügbar unter <https://worrydream.com/ExplorableExplanations/> (03.03.2024).
- 49: Victor, B. (2010). Ten Brighter Ideas? An Explorable Explanation. verfügbare unter <https://worrydream.com/TenBrighterIdeas/> (03.03.2024).
- 50: Victor, B. (2015). What can a technologist do about climate change? A personal view. Verfügbar unter <https://worrydream.com/ClimateChange/> (03.03.2024).
- 51: Ritchie, H. (2022). CO₂ emissions dataset: Our sources and methods. Our World in Data. Verfügbar unter <https://ourworldindata.org/co2-dataset-sources> (03.03.2024).
- 52: Andrew, R. M. (2020). A comparison of estimates of global carbon dioxide emissions from fossil carbon sources. *Earth System Science Data*, 12(3), 1437–1465. Verfügbar unter <https://doi.org/10.5194/essd-12-1437-2020> (03.03.2024).
- 53: Stone, D., Jarrett, C., Woodroffe, M., & Minocha, S. (2005). User interface design and evaluation. Elsevier.
- 54: Bach, Benjamin et al. "Dashboard Design Patterns." Dashboard Design Patterns, gehostet auf GitHub Pages. Verfügbar unter <https://dashboarddesignpatterns.github.io/> (03.03.2024).
- 55: Few, Stephen. Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data. O'Reilly Media, 2006. ISBN: 0-596-10016-7.
- 56: ESRI. (2024). ArcGIS. Verfügbar auf <https://www.arcgis.com/index.html> (03.03.2024).
- 57: ESRI. (2024). ArcGIS StoryMaps. Verfügbar auf <https://storymaps.arcgis.com/> (03.03.2024).
- 58: ESRI. (2024). ArcGIS StoryMaps. Verfügbar auf <https://storymaps.arcgis.com/> (03.03.2024).
- 59: CARTO. (2024). Location Intelligence Platform for Spatial Analytics. Verfügbar auf <https://carto.com/> (03.03.2024).
- 60: Tableau Software. (2024). Software für Business Intelligence und Analytics. Verfügbar auf <https://www.tableau.com/de-de> (03.03.2024).

- 61:Microsoft. (2024). Power BI Desktop – Interactive Berichte. Verfügbar auf <https://powerbi.microsoft.com/de-de/desktop/> (03.03.2024).
- 62:Leaflet. (2024). A JavaScript library for interactive maps. Verfügbar auf <https://leafletjs.com/> (03.03.2024).
- 63:Mapbox. (2024). Create 3D and Dynamic Web Maps with Mapbox GL JS. Verfügbar auf <https://www.mapbox.com/mapbox-gljs> (03.03.2024).
- 64:QGIS. (2024). QGIS-Webclient. Verfügbar auf <https://www.qgis.org/de/site/about/features.html#qgis-web-client> (03.03.2024).
- 65:GeoServer. (2024). GeoServer. Verfügbar auf <https://geoserver.org/> (03.03.2024).
- 66:Posit. (2024). Shiny. Verfügbar auf <https://shiny.posit.co/> (03.03.2024).
- 67:Plotly. (2024). Dash Enterprise: The Premier Data App Platform for Python. Verfügbar auf <https://plotly.com/dash/> (03.03.2024).
- 68:Wade, T. & Sommer, S. (2006). A to Z GIS: An illustrated dictionary of geographic information systems. ESRI: California, USA. ISBN 978-1-58948-140-4.
- 69:Python Software Foundation. (2024). Welcome to Python.org. Verfügbar auf <https://www.python.org/> (03.03.2024).
- 70:Tenkanen, H. (2022). Python OS Ecosystem for GIS and Earth Observation. Verfügbar auf <https://ecosystem.pythongis.org/index.html> (03.03.2024).
- 71:pandas. (2024). Python Data Analysis Library. Verfügbar auf <https://pandas.pydata.org/> (03.03.2024).
- 72:NumPy. (2024). NumPy. Verfügbar auf <https://numpy.org/> (03.03.2024).
- 73:Matplotlib. (2024). Visualization with Python. Verfügbar auf <https://matplotlib.org/> (03.03.2024).
- 74:Plotly. (2024). Low-Code Data App Development. Verfügbar auf <https://plotly.com/> (03.03.2024).
- 75:GeoPandas Developers. (2024). GeoPandas 0.dev+untagged — GeoPandas 0+untagged.50.g5558c35.dirty documentation. Verfügbar auf <https://geopandas.org/en/stable/> (03.03.2024).
- 76:Shapely. (2024). shapely 2.0.3: Manipulation and analysis of geometric objects. Verfügbar auf <https://pypi.org/project/shapely/> (03.03.2024).
- 77:Django Software Foundation. (2024). The web framework for perfectionists with deadlines. Verfügbar auf <https://www.djangoproject.com/> (03.03.2024).
- 78:Pallets Projects. (2024). Welcome to Flask — Flask Documentation (3.0.x). Verfügbar auf <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/> (03.03.2024).
- 79:Tiangolo. (2024). FastAPI. Abgerufen am [Datum des Zugriffs] von <https://fastapi.tiangolo.com/>
- 80:React. (2024). The library for web and native user interfaces. Verfügbar auf <https://react.dev/> (03.03.2024).
- 81:Angular. (2024). The modern web developer's platform. Verfügbar auf <https://angular.io/> (03.03.2024).
- 82:ExpressJS. (2024). Node.js-Framework von Webanwendungen. Verfügbar auf <https://expressjs.com/de/> (03.03.2024).
- 83:OpenLayers. (2024). Welcome to OpenLayers. Verfügbar auf <https://openlayers.org/> (03.03.2024).
- 84:Observable, Inc. (2024). D3 by Observable: The JavaScript library for bespoke data visualization. Verfügbar auf <https://d3js.org/> (03.03.2024).
- 85:Highcharts. (2024). Interactive charting library. Verfügbar auf <https://www.highcharts.com/> (03.03.2024).
- 86:Streamlit. (2024). A faster way to build and share data apps. Verfügbar auf <https://streamlit.io/> (03.03.2024).
- 87:Bokeh. (2024). Bokeh: A Python library for interactive visualization. Verfügbar auf <http://bokeh.org/> (03.03.2024).
- 88: Plotly. (o.J.). Dash Enterprise: The Premier Data App Platform for Python. Verfügbar unter <https://plotly.com/dash/> (03.03.2024).
- 89: Open Source Initiative. (o.J.). The MIT License. Open Source Initiative. Verfügbar auf <https://opensource.org/license/mit> (03.03.2024).
- 90: Plotly. (2024). Dash: Data Apps & Dashboards for Python. GitHub. Verfügbar unter <https://github.com/plotly/dash> (03.03.2024).
- 91: WSGI.org. (o.J.). What is WSGI? Verfügbar unter <https://wsgi.readthedocs.io/en/latest/what.html> (03.03.2024).
- 92: Plotly. (o.J.). Dash Documentation & User Guide. Verfügbar unter <https://dash.plotly.com/> (03.03.2024).
- 93:Plotly. (o.J.). Beispiele für Dash-Anwendungen. Verfügbar unter <https://plotly.com/examples/> (03.03.2024).
- 94:Bainomugisha, E., Lombide Carreton, A., van Cutsem, T., & Mostinckx, S. (2013). A survey on reactive programming. ACM Computing Surveys, 45(4), 1–34. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1145/2501654.2501666> (03.03.2024).
- 95:Plotly. (o.J.). Dash Core Components. Verfügbar unter <https://dash.plotly.com/dash-core-components> (03.03.2024).
- 96:Plotly. (o.J.). Plotly Python Graphing Library. Verfügbar unter <https://plotly.com/python/> (03.03.2024).
- 97:Plotly. (o.J.). Basic Callbacks in Dash. Verfügbar unter <https://dash.plotly.com/basic-callbacks> (03.03.2024).
- 98:Plotly. (o.J.). Multi-Page Apps and URL Support. Verfügbar unter <https://dash.plotly.com/urls> (03.03.2024).
- 99:Unger, Russ und Chandler, Carolyn. A Project Guide to UX Design: For User Experience Designers in the Field or in the Making. 3. Auflage, New Riders, 2024.
- 100:Bootstrap. (n.d.). Grid system. Verfügbar unter <https://getbootstrap.com/docs/4.0/layout/grid/> (03.03.2024).
- 101:Bootstrap. (o.J.). Bootstrap: The most popular HTML, CSS, and JS library in the world. GitHub. Verfügbar unter <https://github.com/twbs> (03.03.2024).
- 102:Bootswatch. (o.J.). Sketchy. Verfügbar unter <https://bootswatch.com/sketchy/> (03.03.2024).

- 103:Smith, B. (2012). How to KISS: The Art of Keeping it Simple Stupid. Flagstaff, AZ: Double Dot LLC. Verfügbar auf <http://www.xdoubledot.com/documents/How%20to%20KISS.pdf> (03.03.2024).
- 104:Render. (2023). *Cloud Application Hosting for Developers*. Verfügbar auf <https://render.com/> (03.03.2024).
- 105:Davidson, J. P. L., & Kemp, L. (2023). Climate catastrophe: The value of envisioning the worst-case scenarios of climate change. WIREs Climate Change. Verfügbar auf <https://doi.org/10.1002/wcc.871> (03.03.2024).
- 106:Luhmann, N. (1998). Die Gesellschaft der Gesellschaft (11. Auflage). Suhrkamp Verlag.

6. Anhang

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Bibliotheken.....	65
Tabelle 2: Verwendete Datensätze.....	67
Tabelle 3: dataManager Funktionen.....	68
Tabelle 4: Spezifische modulinterne Datenprozessierung.....	69
Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der entwickelten Unterseiten.....	70

Tabelle 1: Verwendete Bibliotheken

Bibliothek	Version	Beschreibung
ansi2html	1.9.1	Konvertiert ANSI-Text zu HTML.
attrs	23.2.0	Bietet Attribute für Python-Klassen zur einfacheren Handhabung.
blinker	1.7.0	Unterstützt Signalgebung zwischen Objekten in Python.
cachelib	0.9.0	Bietet Caching-Mechanismen für Python-Anwendungen.
certifi	2023.11.17	Root-Zertifikate für Validierung von SSL-Zertifikaten.
cftime	1.6.3	Zeitverwaltungswerkzeuge für Datumszeiten in NetCDF.
charset-normalizer	3.3.2	Bibliothek zur Zeichensatznormalisierung.
click	8.1.7	Erstellt CLI-Anwendungen mit wenig Code.
click-plugins	1.1.1	Plugin-Unterstützung für Click-Anwendungen.
cligj	0.7.2	CLI-Unterstützung für GeoJSON.
colorama	0.4.6	Ermöglicht farbige Terminalausgaben auf verschiedenen Plattformen.
contourpy	1.2.0	Erzeugt Konturen für Matplotlib.
cycler	0.12.1	Hilfsmittel für zyklische Farbgebung in Plots.
dash	2.14.2	Framework für Webanwendungen in Python.
dash-bootstrap-components	1.5.0	Bootstrap-Komponenten für Dash.
dash-core-components	2.0.0	Kernkomponenten für Dash.
dash-extensions	0.0.47	Erweiterungen für Dash.
dash-html-components	2.0.0	HTML-Komponenten für Dash.
dash-table	5.0.0	Tabellenkomponenten für Dash.
dataclass-wizard	0.22.2	Vereinfacht die Nutzung von Dataclasses.
EditorConfig	0.12.3	Hilft, konsistente Codierungsstile zu bewahren.

fiona	1.9.5	API für räumliche Daten (Lesen/Schreiben).
Flask	2.3.3	Mikro-Webframework für Python.
Flask-Caching	2.0.2	Fügt Caching-Support zu Flask hinzu.
fonttools	4.47.2	Bibliothek zur Bearbeitung von Schriftarten.
geopandas	0.14.2	Vereinfacht die Handhabung von geographischen Daten.
gunicorn	21.2.0	WSGI HTTP Server für UNIX.
idna	3.6	Unterstützt die IDNA-Internationalisierung von Domainnamen.
importlib-metadata	7.0.1	Zugriff auf Metadaten von Python-Paketen.
itsdangerous	2.1.2	Sichere Datenübertragung für Flask und andere.
Jinja2	3.1.3	Templating-Engine für Python.
jsbeautifier	1.14.11	Verschönert JavaScript-Code.
kiwisolver	1.4.5	Effizienter Solver für Constraints.
MarkupSafe	2.1.3	Implementiert eine XML/HTML/XHTML Markup sichere Zeichenkette.
matplotlib	3.8.2	Umfangreiche Bibliothek für die Erstellung von statischen, animierten und interaktiven Visualisierungen.
more-itertools	9.1.0	Zusätzliche Hilfsmittel für Iterationen.
nest-asyncio	1.5.9	Ermöglicht die Nutzung von asyncio in Jupyter-Notebooks.
netCDF4	1.6.5	Interface zu netCDF C-Bibliothek.
numpy	1.26.3	Wissenschaftliche Berechnungen mit Arrays.
packaging	23.2	Core-Hilfsmittel für Versionshandling und -vergleich.
pandas	2.1.4	Datenanalyse und -manipulation.
pillow	10.2.0	Python Imaging Library (Fork).
plotly	5.18.0	Interaktive Graphen und Dashboards.
pyparsing	3.1.1	Generiert und verarbeitet Grammatiken.
pyproj	3.6.1	Python-Schnittstelle zur PROJ-Bibliothek (Kartographieprojektionen und Koordinatentransformationen).
python-dateutil	2.8.2	Erweiterungen für das datetime-Modul.
pytz	2023.3.post1	Weltzeitzone Definitionen für Python.
requests	2.31.0	HTTP-Bibliothek
retrying	1.3.4	Wiederholt Versuche mit zurückweichender Verzögerung.
shapely	2.0.2	Manipulation und Analyse von geometrischen Objekten.
six	1.16.0	Python 2 und 3 Kompatibilitätshilfsmittel.
tenacity	8.2.3	Wiederholungs-Logik für Python-Operationen.
typing_extensions	4.9.0	Rückport von Typing-Features zu älteren Python-Versionen.
tzdata	2023.4	Zeitzone Datenbank für Python.
urllib3	2.1.0	Leistungsstarke, benutzerfreundliche HTTP-Client für Python.

Werkzeug	3.0.1	WSGI Utility-Bibliothek für Python.
zipp	3.17.0	Zurückportierung der pathlib-kompatiblen Objekt-API für Zip-Archive.

Tabelle 2: Verwendete Datensätze

Datensatz	Beschreibung
Anbieter	
Quelle	
owid-co2-data.csv Our World in Data, Global Carbon Project https://github.com/owid/co2-data	Daten zu CO ₂ - und Treibhausgasemissionen kuratiert durch Our World in Data (basierend auf verschiedenen Quellen; maßgeblich auf dem Global Carbon Project). Der Datensatz wird in verschiedenen Widgets genutzt und je nach Bedarf umstrukturiert oder um Datenpunkte zur Zuordnung einzelner Länder zu ihren jeweiligen Kontinenten ergänzt.
MCC Carbon Clock (eingebundenes HTML- Inlineframe) Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) https://www.mcc-berlin.net/en/research/co2-budget.html	Die MCC Carbon Clock zeigt, wie viel CO ₂ noch in die Atmosphäre ausgestoßen werden darf, um die globale Erwärmung auf maximal 1,5°C bzw. 2°C zu begrenzen. Die Uhr basiert auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und berechnet die verbleibende Zeit bis zum Erreichen dieser Grenzwerte.
GLB.Ts+dSST.csv NASA https://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v4/GLB.Ts+dSST.csv	Die Temperaturdaten von der NASA stellen eine Schätzung der globalen Veränderung der Oberflächentemperatur dar. Die Daten beinhalten Temperaturanomalien, die von meteorologischen Stationen und ozeanischen Messpunkten abgeleitet sind.
world-countries.json Kaggle https://www.kaggle.com/datasets/ktochylin/world-countries/data	Enthält geografische Daten der Länder weltweit im GeoJSON-Format. Dies ermöglicht die digitale Abbildung komplexer geografischer Strukturen.
nic_autoc[XXXXXXX ³²]n_pl_a.shp U.S. National Ice Center (USNIC) https://usicecenter.gov/Products/ArcticData	Basieren auf den täglichen Eisanalysen des USNIC. Shapefiles sind ein geografisches Informationsformat, das für Kartierung und räumliche Analyse verwendet wird. Sie enthalten geometrische Standorte und Attribute von geografischen Merkmalen und sind entscheidend für die Überwachung der Eisdynamik.
41261-0003_flat.csv Statistisches Bundesamt (GENESIS)	Der Schadholzeinschlag berechnet sich auf Grundlage der Holzeinschlagsstatistik des statistischen Bundesamtes. Diese jährliche Erhebung von Daten zum Rohholzaufkommen in Deutschland umfasst alle

³² Den jeweiligen Datumsformaten entsprechend.

https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=41261-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1707070432276#abreadcrumb	Betriebe, die Rohholz erzeugen, und berücksichtigt planmäßigen sowie schadensbedingten Einschlag. Die Datengewinnung kombiniert Verwaltungsdaten, direkte Befragung und Schätzungen. Der Datensatz wurde um Niederschlagsdaten des DWD erweitert.
niederschlag_gebietsmittel.txt Deutscher Wetterdienst (DWD) https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html#buehneTop	Die Daten zum Niederschlag sind Gebietsmittel (Mittelwerte der Rasterfelder von Deutschland mit einer Auflösung von 1km). Gegenüber Zeitreihen einzelner Stationen sind die Zeitreihen von Gebietsmitteln weitgehend frei von Inhomogenitäten, die durch Stationsverlegungen oder Veränderungen im Umfeld einer Station entstehen. Außerdem sind sie repräsentativer für ein größeres Gebiet als Einzelstationen oder einfache Kombinationen der verschiedenen Stationen.
SMI_Oberboden/Gesamtboden Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) https://www.ufz.de/index.php?de=37937	Historische, monatliche Bodenfeuchtigkeitsdaten basierend auf den Messungen von ca. 2500 Wetterstationen des DWD. Die Daten werden qualitätsgeprüft, auf ein 4 km Raster interpoliert und durch Modellrechnungen eine Annäherung an die tatsächliche Bodenfeuchte simuliert.
Satellitenbilddaten US Geological Survey (USGS) https://eros.usgs.gov/earthshots/the-craters-size	Satellitenbilddaten stammen aus vorab ausgewählten Sammlungen des USGS und sind Teil der Satellitenmissionen Landsat 5, 7, 8 und Sentinel-2A. Diese Daten sind wichtig für die Überwachung und Analyse geografischer und ökologischer Veränderungen über Zeit.

Tabelle 3: dataManager Funktionen

Funktion	Beschreibung	Übergabeargumente	Verarbeitungsschritte	Rückgabewert
read_co2_data	Liest CO2-Daten aus einer CSV-Datei.	Pfad zur CSV-Datei	- CSV-Datei lesen	DataFrame mit CO2-Daten
preprocess_co2_data	preprocess_co2_data	DataFrame mit CO2-Daten	- Filtern nach 'World' - Filtern nach Jahr >= 1880 - Neue Spaltenstruktur erstellen	Vorverarbeiteter DataFrame mit CO2-Daten
read_continental_data	Liest Kontinental-Daten.	Pfad zur CSV-Datei	- CSV-Datei lesen	DataFrame mit Kontinental-Daten
read_temp_data	Liest Temperaturdaten.	Pfad zur CSV-Datei	- CSV-Datei lesen mit Skiprows	DataFrame mit Temperaturdaten
process_and_save_json	Verarbeitet und speichert GeoJSON-Daten.	Pfad zu Input- und Output-JSON	- JSON laden - Ländernamen ersetzen - Features nach id - Schlüsseln entfernen - GeoJSON speichern	Kein Rückgabewert
extract_country_names	Extrahiert Ländernamen aus GeoJSON.	Pfad zum GeoJSON	- JSON laden - Ländernamen extrahieren	Liste von Ländernamen

process_and_save_csv	Verarbeitet und speichert CSV-Daten.	Pfad zu Input-CSV, Output-CSV, Ländernamen	- CSV lesen - Spalten auswählen und neu ordnen - Daten zusammenführen - Daten filtern und speichern	Kein Rückgabewert
read_netCDF4_structu re	Liest die Struktur einer NetCDF-Datei.	Pfad zur NetCDF-Datei	- NetCDF-Datei öffnen - Dimensionen und Variablen auflisten	Kein Rückgabewert
preprocess_netcdf_da ta	Vorverarbeitet NetCDF-Daten.	Pfad zur NetCDF-Datei	- NetCDF-Datei öffnen - Daten und Zeitwerte extrahieren	Lats, Lons, Daten, Datumswerte
remove_months	Entfernt Monate aus NetCDF-Daten.	Input- und Output-NetCDF	- Bestimmte Monate filtern - Daten in neuer Datei speichern	Kein Rückgabewert
merge_schadholz_nied erschlag_and_save	Führt Schadholz- und Niederschlagsdaten zusammen und speichert sie.	Pfade zu Schadholz- und Niederschlagsdaten	- Daten laden und zusammenführen -Zusammengeführte Daten speichern	Kein Rückgabewert
process_dataset	Verarbeitet einen Datensatz.	Pfad zu Input-CSV, Output-Pfad	- CSV lesen und filtern - Daten aggregieren - Aggregierte Daten speichern	Kein Rückgabewert
format_european_deci mal	Formatierung von Zahlen im europäischen Stil.	Zahl	- Zahl in europäisches Format umwandeln	Formatierter String
process_logging_data	Verarbeitet Protokolldaten.	Pfad zur CSV-Datei	- CSV lesen und numerische Werte konvertieren	DataFrame mit verarbeiteten Daten

Tabelle 4: Spezifische modulinterne Datenprozessierung

Modul	Beschreibung	Datenprozessierung
blankPage.py	Eine einfache 404-Seite mit einem "Zurück"-Button.	- Keine direkte Datenprozessierung.
start_page_1.py	Einführung und allgemeine Informationen zur Anwendung.	- Keine direkte Datenprozessierung.
start_page_2.py	Darstellung von Temperatur- und CO2-Daten.	- Einlesen und Filtern relevanter Datenpunkte
klima_1.py	Visualisierung von CO2-Daten in Baumdiagrammen	- Datensätze werden anhand der ISO-Codes der Länder zusammengeführt. - Unnötige Spalten werden entfernt, Spalten werden umbenannt, und die Daten werden neu geordnet, um eine konsistente Struktur zu erhalten. - Die Daten werden gefiltert, um nur Zeilen mit

		gültigen Kontinenten zu behalten. - Länder- und Kontinentnamen werden ins Deutsche übersetzt.
klima_2.py	Visualisierung von CO2-Daten auf Weltkarte und Liniendiagramm	- Extrahieren gültiger Ländernamen aus der JSON-Datei. - Verarbeiten und Speichern von CO2-Daten nach Länderschlüssel. - Filtern der CO2- Daten basierend auf gültigen Ländernamen. - Übersetzen von Länder- und Kontinentnamen für die Anzeige.
hydro_1.py	Visualisierung von Eisschild-Daten.	- Verarbeiten der Shapefile-Daten und erzeugung von statischen HTML-Darten, zur Anzeige im IFrame.
hydro_2.py	Darstellung von Schadholz und Niederschlagsdaten.	- Für jede Zeile im DataFrame werden die Werte über die verschiedenen Schadursachen aufsummiert, um eine Gesamtsumme des Schadholzes zu erhalten. - Anschließend werden die Daten gerundet.
pedo_1.py	Visualisierung von Bodenfeuchtedaten.	- Extrahierung von Längen- und Breitengraden, Bodenfeuchtedaten und Zeitwerten. - Generierung der Karten als PNG-Bilder und deren Einbettung über Base64-kodierte URLs in die Dash-Anwendung. - Monatsnamen werden ins Deutsche übersetzt.
pedo_2.py	Visualisierung von Satellitenbildern des Batagaika-Kraters.	- Konvertierung in das Base64-Format und Einbindung in ein HTML- Dokument.

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der entwickelten Unterseiten

Dashboard	Beschreibung	Meta- Kontext
Hinweise zur Bedienung start_page_1.py	Integriert ein iFrame der MCC Carbon Clock und bietet Info-Karten, die Hintergrundinformationen zu den Klimazielen des Pariser Abkommens und zu den globalen Temperaturanstiegen liefern.	Dient als Startseite und liefert grundlegende Hinweise hinsichtlich des Aufbaus und der Bedienung der Anwendung.
CO2 und das Klima start_page_2.py	Visualisiert Anhand verschiedener Diagramme den Zusammenhang zwischen CO2-Emissionen und Temperaturänderungen.	Bietet eine kleine Einführung zum Lesen und Interpretieren von Diagrammen.
CO2 Emittenten klima_1.py	Stellt nach Ländern und Kontinenten aufgeschlüsselte CO2-Emissionen unter verschiedenen Gesichtspunkten in Baumdiagrammen dar.	Gibt einen Einblick darüber, wie durch unterschiedliche Schwerpunktsetzungen Interpretationsmuster entstehen können – "Data Framing".
CO2 Emissionen nach Quellen klima_2.py	Ermöglicht die Auswahl verschiedener klimarelevanter Beobachtungsgegenstände und	Veranschaulicht die Komplexität bei der Erstellung, Pflege und Bearbeitung großer

	spezifische Einstellungen für den Vergleich von Ländern und Zeitperioden zur Visualisierung auf einer Weltkarte und einem Liniendiagramm.	Datensätze.
Arktischer Eisschild hydro_1.py	Ermöglicht die Betrachtung von Veränderungen des arktischen Eisschildes innerhalb eines Jahres oder mehrerer Jahre durch die Auswahl entsprechender Ansichten.	Veranschaulicht analog den Unterschied zwischen Wetter und Klima als die Summe einer längeren Reihe von Wetterereignissen.
Waldökosysteme und ihr Wasserhaushalt hydro_2.py	Visualisiert Schadholzeinschlag nach Einschlagsursachen in verschiedenen Diagrammtypen und bietet interaktive Möglichkeiten zur Datenauswahl und -anzeige.	Demonstriert, wie die Auswahl verschiedener Diagrammtypen die Lesbarkeit und Interpretation desselben Datensatzes beeinflussen können.
Dürre Monitor pedo_1.py	Bietet Einstellungsmöglichkeiten zur Visualisierung von Bodenfeuchtigkeitsdaten und integriert spezifische Widgets zur Anzeige und Auswahl von Datenpunkten für die Visualisierung.	Demonstriert, wie Modelle dazu beitragen können, den mit den bloßen Sinnen schwer wahrnehmbaren Klimawandel sichtbar zu machen.
Permafrostböden pedo_2.py	Präsentiert Satellitenbilder des Batagaika-Kraters und ermöglicht durch interaktive Widgets wie Play-, Stopp- und Vorwärts-Buttons eine dynamische Betrachtung der Veränderungen über die Zeit oder einen Vorher-Nachher-Vergleich durch die Auswahl spezifischer Aufnahmen.	Die Darstellung von Kippunkten veranschaulicht das Konzept von positive Rückkopplungsschleifen und fördert somit das Bewusstsein für Handlungsbedarf.

7. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle sinngemäß und wörtlich übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.

, den