



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Der Mehrwert von Geodashboards mit integrierten
webbasierten Karten im Vergleich mit potenziellen Dashboards
ohne kartographische Komponenten

verfasst von | submitted by

Nina Tatiana García Rozo

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Kartographie und Geoinformation

Betreut von | Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhalt

Inhalt.....	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	6
Danksagung.....	7
Kurzfassung	8
Abstract	9
1 Einleitung.....	10
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	10
1.3 Relevanz der Arbeit.....	12
1.4 Stand der Forschung.....	12
1.5 Hypothesen und Forschungsfragen	14
1.6 Struktur der Arbeit und methodischer Ansatz.....	14
2 Theoretische Grundlagen.....	17
2.1 Geodatenvisualisierung, kartographischer Kommunikationsprozess, visuelle Analyse und Nutzerkompetenzen („Literacies“).....	17
2.1.1(Kartographischer) Kommunikationsprozess und (Geo-)Visualisierung.....	17
2.1.2(Geo-)Visual analytics	25
2.1.3Visuelle Wahrnehmung und Kognition	26
2.1.4Nutzer*innen Kompetenzen („Literacies“).....	30
2.2 Was sind Dashboards?.....	31
2.3 Was sind Geodashboards?.....	34
2.4 Die Geschichte von digitalen (Geo-)Dashboards	36
2.5 Komponenten, Arten und Eigenschaften von (Geo-)Dashboards	41
2.6 Karten als Bestandteil von Geodashboards	50
2.6.1Karten in der „World Wide Web“	50
2.6.2Funktionen der Karten im Web	61
2.7 Technologien für die Erstellung von Geodashboards	65
2.7.1ArcGIS Dashboards	65
2.7.2Tableau	66
2.7.3PowerBI.....	67
2.7.4Programmierungswerkzeuge	68

2.7.5	Technologien im Vergleich	70
2.8	Erkenntnisse aus der Literatur und Schlussfolgerungen des Kapitels 2.....	73
3	Geodashboards in der Praxis.....	75
3.1	Use Case Thema: Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Dekarbonisierung	75
3.2	Teil I – Dashboards Prototypen.....	81
3.2.1	Prototype Erstellung	81
3.3	Teil II - Gestaltung des Evaluierungsplans	86
3.3.1	Auswertungsmethoden	86
3.3.2	Testnutzer	89
3.3.3	Testaufgaben.....	90
3.3.4	Geplante Vorgehensweise	92
3.4	Teil III – Auswertung des Prototyps	93
4	Ergebnisse.....	97
5	Beantwortung der Forschungsfragen	114
6	Diskussion	117
7	Zusammenfassung und Conclusio	118
8	Literatur.....	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Methodischer Ansatz.....	16
Abbildung 2. DIKW Pyramid	18
Abbildung 3. Datenvisualisierungsprozess	19
Abbildung 4. Digitale Version der Originalkarte von John Snow über die Choleraepidemie im Jahr 1854	20
Abbildung 5. “Schematic diagram of a general communication system”	21
Abbildung 6. Koláčný’s (1969) kartographisches Kommunikationsmodell.	22
Abbildung 7. Elemente des kartografischen Kommunikationsmodells	22
Abbildung 8. ein neues kartographisches Kommunikationsmodell	24
Abbildung 9. Feedback-Schleife	26
Abbildung 10. „A three-stage model of human visual information processing.”	27
Abbildung 11. Beispiele der vorbewussten Attribute der visuellen Wahrnehmung	28
Abbildung 12. Dominanz der vorbewussten Attribute der visuellen Wahrnehmung.....	29
Abbildung 13. Dashboard-Metriken.....	32
Abbildung 14. Beispiel eines Dashboards.....	32
Abbildung 15. Beispiel eines Geodashboards	34
Abbildung 16. COVID-19 Dashboard (CSSE - JHU).....	36
Abbildung 17. Geoinformationssysteme (GIS).....	37
Abbildung 18. Interaktion von SDSS-Komponenten.....	39
Abbildung 19. Chronologie der (Geo-)Dashboards	41
Abbildung 20. Dashboard-Architektur nach Jing et al. (2019)	42
Abbildung 21. Arten von CityDashboards nach (Jing et al., 2019) basierend auf Fewes (2006) Klassifizierung	43
Abbildung 22. Arten von (Geo-)Dashboards nach ESRI	44
Abbildung 23. Am häufigsten verwendete Merkmale in Kartenbasierten Dashboards nach Häägg et al. (2020) und Häägg (2020).....	45
Abbildung 24. Hervorhebung der Regionen eines Dashboards	47
Abbildung 25. Entwicklung des Web-Mappings nach Veenendaal et al. (2017).....	55
Abbildung 26. Xerox PARC Map Viewer	56
Abbildung 27. Trends und Entwicklungen in der DIKIW-Pyramide.....	58
Abbildung 28. Visuellen Variablen	60

Abbildung 29. Die Rolle von Karten in WebGIS Umgebungen	61
Abbildung 30. Kartenfunktionen in multimedialen Umgebungen	62
Abbildung 31. (a) Geodashboard und (b) Map-based Dashboard.....	62
Abbildung 32. AGORA Geodashboard.....	63
Abbildung 33. InDash Geodashboard	64
Abbildung 34. Origin Destination Dashboard (Air Traffic).....	64
Abbildung 35. ArcGIS Dashboards Elemente	65
Abbildung 36. Tableau Visualisierungen.	66
Abbildung 37. Power BI Software Services.....	67
Abbildung 38. Power BI Desktop - visuelle Elemente	68
Abbildung 39. Interactive Data Visualization of Geospatial Data using D3.js, DC.js, Leaflet.js and Python	69
Abbildung 40. Faktoren und Merkmale von verständlichen und effektive Geodashboards	74
Abbildung 41. Grobe Chronologie der EU- Richtlinien für erneuerbare Energien.....	76
Abbildung 42. „Progress towards renewable energy source targets for EU-27”	77
Abbildung 43. Erneuerbare Energien als Alternative zu fossilen Brennstoffen.....	77
Abbildung 44.. “Impacts of renewable energy use on decarbonisation and air pollutant emissions” Dashboard -Landvergleich	78
Abbildung 45. “Impacts of renewable energy use on decarbonisation and air pollutant emissions” Dashboard - Landprofil	79
Abbildung 46. Die Methode zur Abschätzung der Auswirkungen erneuerbarer Energien auf die vermiedenen Treibhausgasemissionen.....	80
Abbildung 47. Erstellungsablauf des Prototypen.....	81
Abbildung 48. Dashboard Prototyp mit integrierten Karten	85
Abbildung 49. Geodashboard- Prototyp ohne Karten.	86
Abbildung 50. Qualitative und Quantitative Messungen zur Visualisierungen Evaluierung nach Zhu (2007)	87
Abbildung 51 Usability Metriken nach ISO 9241-2018	88
Abbildung 52. Bestimmung der Anzahl an Testnutzern in heuristischen Evaluierungen nach Nielsen (1994).....	89
Abbildung 53. Ziele in der Taxonomie nach Roth (2013)	90
Abbildung 54. Bildungsniveau der Testteilnehmer*innen.....	94
Abbildung 55. Vertrautheit der Teilnehmer*innen mit (Geo-)Dashboards und GIS	94

Abbildung 56. Vertrautheit der Teilnehmer*innen mit dem Thema erneuerbaren Energien und deren Niveau	95
Abbildung 57. Binärer Aufgabenerfolg mit dem Geodashboard A und B (0 = Falsch, 1= Richtig)	97
Abbildung 58. Vergleich der Erfolgsquote der Aufgaben zwischen Geodashboard A und B.....	98
Abbildung 59. Erfolgsquote bei der „Novice“ Gruppe	98
Abbildung 60 Erfolgsquote bei der GIS-Gruppe	99
Abbildung 61. Erfolgsquote bei der RES-Gruppe.....	99
Abbildung 62. Boxplot der Bearbeitungszeit der Aufgaben mit dem Geodashboard A .	100
Abbildung 63. Boxplot der Bearbeitungszeit der Aufgaben mit dem Geodashboard B .	101
Abbildung 64. Boxplots der Bearbeitungszeit für die unerfahrene Gruppe	101
Abbildung 65. Boxplots der Bearbeitungszeit für die GIS-Gruppe	102
Abbildung 66. Boxplots der Bearbeitungszeit für die RES-Gruppe	102
Abbildung 67 Bearbeitungszeiten und Erfolgsquoten.....	104
Abbildung 68. Kontingenz Tabelle	106
Abbildung 69. Kontingenztabellen für alle Aufgaben und bei Aufgabe.....	107
Abbildung 70. McNemar’s Test Ergebnisse	107
Abbildung 71. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse für das Geodashboard mit Karte	108
Abbildung 72. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse für das Geodashboard ohne Karte.....	108
Abbildung 73. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse bei Nutzergruppe.....	109
Abbildung 74 Ergebnisse des Wilcoxon signed-rank Test für alle Gruppen	109
Abbildung 75. Ergebnisse des Wilcoxon signed-rank Test bei Nutzergruppe.....	110
Abbildung 76. Benutzerpräferenzen nach Geodashboard-Typ	111
Abbildung 77. Wordcloud des Nutzer*innen Feedbacks.	112
Abbildung 78. Likert Scala Questions.	113

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Gestaltungsmerkmale und Komponenten von (Geo-)Dashboards	50
Tabelle 2. Technologien im Vergleich	71
Tabelle 3. Vergleichende Übersicht der Technologien	72
Tabelle 4. Komponenten und Eigenschaften der eigenen Prototypen.....	84
Tabelle 5. Messungen der Effizienz, Effektivität und Nutzerpräferenz in den eigens erstellten Prototypen	88
Tabelle 6 Testaufgaben	91

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meines Studiums und bei dieser Masterarbeit unterstützt haben. Zuallererst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl für seine wertvolle Unterstützung und mich für seine fachliche Begleitung während des gesamten Prozesses bedanken.

Ich möchte mich auch bei meiner Familie in der Schweiz, Österreich, Kolumbien und Deutschland bedanken. Besonders ohne meine Mütter, meine Brüder und meinen Onkel Arturo wäre es mir nicht möglich gewesen, mein Studium in Österreich abzuschließen.

Ein besonderer Dank gilt meinem zukünftigen Ehemann Lukas. Deine Hilfe, deine Geduld deine Unterstützung, waren eine immense Stütze für mich.

Danke ebenfalls an Reiner für das Korrekturlesen! An dich und an Tom Danke, dass ihr mir dabei unterstützt habt, meine berufliche Karriere in Österreich zu starten.

Danke an alle Teilnehmer*innen, Kollegen und Freunden für eure Unterstützung.

Ich möchte zuletzt diese Masterarbeit meiner Mutter Lucia Rozo widmen, die mich in jeder Lebenslage unterstützt und motiviert hat und in Erinnerung an meinen Vater.

Kurzfassung

In der heutigen digitalen Welt stellt die enorme Menge an täglich generierten (Geo-)Daten sowohl Chancen als auch Herausforderungen für deren Analyse und Verständnis dar, insbesondere angesichts der unterschiedlichen Kompetenzniveaus und Kenntnisse der Nutzer. In diesem Kontext sind (Geo-)Dashboards als Visualisierungswerkzeuge entstanden, welche die Darstellung von (Geo-)Daten aus unterschiedlichen Quellen in vielfältiger Form ermöglichen. Dadurch werden komplexe Informationen in einem klaren und verständlichen Format präsentiert, was einen umfassenden Überblick über die Daten auf einen Blick bietet, sofern das Dashboard gut strukturiert und gut gestaltet ist.

In dieser Masterarbeit wird die Hypothese aufgestellt, dass die Integration interaktiver Karten in Geodashboards das Verständnis und die Analyse (räumlicher) Daten weiter verbessert, indem sie eine intuitivere und detailliertere Interaktion mit den Daten ermöglicht. Um diese Hypothese zu überprüfen, wird untersucht, inwiefern die Integration interaktiver Karten in Geodashboards das Verständnis und die Analyse räumlicher Daten im Vergleich zu Dashboards ohne Kartenkomponenten verbessert, um zu ermitteln, ob Karten einen Mehrwert für (Geo-)Dashboards bieten.

Zunächst erfolgt eine umfassende Literaturrecherche, um wesentliche Faktoren, Merkmale und Designprinzipien für (Geo-)Dashboards zu identifizieren. Die Analyse zeigt, dass nutzer- und designerbezogene Faktoren sowie Merkmale wie Datenqualität, Layout, visuelle Darstellung, Visualisierungen und Interaktivität für das erfolgreiche Design von (Geo-)Dashboards entscheidend sind. Anschließend wurde eine empirische Within-Subject Untersuchung durchgeführt, bei der die Bearbeitungszeit, die Genauigkeit und die Nutzerpräferenzen von Testpersonen bei der Interaktion zweier (Geo-)Dashboards Prototypen (mit und ohne Karte) gemessen wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere unerfahrene Nutzer*innen von der Integration interaktiver Karten profitieren, da die Bearbeitungszeit verkürzt und die Erfolgsquote erhöht wird. Erfahrene Nutzer*innen bevorzugten das kartengestützte Dashboard, obwohl sie mit der Version ohne Karte teilweise kürzere Bearbeitungszeiten erzielten.

Diese Ergebnisse liefern relevante Erkenntnisse für die Gestaltung und Optimierung zukünftiger Geodashboards, insbesondere in Bezug auf den Mehrwert interaktiver Karten für Nutzer*innen ohne spezifische Vorkenntnisse. Besonders in Bereichen, in denen ein erhöhtes Bewusstsein erforderlich ist, wie zum Beispiel bei erneuerbaren Energien, können solche Geodashboards eine wichtige Rolle spielen, um komplexe Themen verständlich und zugänglich zu machen.

Abstract

In today's digital world, the enormous amount of (geo-)data generated daily presents both opportunities and challenges for analysing and understanding these data. This is particularly evident when considering the diverse skill sets and levels of understanding among users. In this context, (geo-)dashboards have emerged as visualisation tools that enable the presentation of (geo-)data from different sources in a variety of forms. This allows complex information to be presented in a clear and understandable format, providing a comprehensive overview of the data at a glance, if the dashboard is well structured and well designed.

This thesis proposes the hypothesis that the integration of interactive maps into geodashboards will further improve the understanding and analysis of (spatial) data by enabling a more intuitive and detailed interaction with the data. To test this hypothesis, to which extent the integration of interactive maps in geodashboards improves the understanding and analysis of spatial data compared to dashboards without map components is investigated to determine whether maps add value to (geo-)dashboards.

First, a comprehensive literature review is conducted to identify key factors, features and design principles for (geo-)dashboards. The analysis shows that user- and designer-related factors as well as features such as data quality, layout, visual presentation, visualisations and interactivity are decisive for the successful design of (geo-)dashboards. An empirical within-subject study was then conducted in which the task completion time, correctness and subjective user preferences of test persons were measured when interacting with two (geo-)dashboard prototypes (with and without a map).

The results show that inexperienced users in particular benefit from the integration of interactive maps, as the processing time is shortened and the success rate is increased. Experienced users favoured the map-based dashboard, although in some cases they achieved shorter processing times with the version without a map.

These results provide relevant insights for the design and optimisation of future geodashboards, especially regarding the added value of interactive maps for users without specific prior knowledge. Especially in areas where increased awareness is required, such as renewable energies, geodashboards can play an important role in making complex topics understandable and accessible.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Mit der raschen Entwicklung von Technologien und der progressiven digitalen Transformation haben die Datenmengen enorm zugenommen, von denen ein großer Teil Geodaten sind, was zu einer Informationsüberlastung führt. (Keim et al., 2008a; Keim et al., 2008b; Yigitbasioglu & Velcu, 2012; Vázquez-Ingelmo et al., 2019; Zuo et al., 2019:19; Alsayahani, 2023) „*Due to information overload, time and money are wasted, scientific and industrial opportunities are lost because we still lack the ability to deal with the enormous data volumes properly. [...]*” (Keim et al., 2010:1).

“*From 2005 to 2020, the digital universe will grow by a factor of 300, from 130 exabytes to 40,000 exabytes, or 40 trillion gigabytes [40 zettabytes] [...]*”(Gantz & Reinsel, 2012). Bis zum Jahr 2020 wurde diese Prognose aufgrund der Covid 19 Pandemie sogar noch überschritten und erreichte im Jahr 2020 64,2 Zettabytes. (vgl. Taylor, 2022)

Dies hat unter anderem zur Notwendigkeit geführt, Werkzeuge und Instrumente zu entwickeln, mit denen solche Datenmengen schnell und effektiv untersucht, prozessiert, analysiert, überwacht, verwaltet und visualisiert werden können.

(Geo-)Dashboards scheinen eine geeignete und sinnvolle Option zur Kompilierung, Analyse, Monitoring und hauptsächlich zur Visualisierung von Daten, inklusive georeferenzierter Daten, aus verschiedenen Quellen zu sein. Diese ermöglichen die Integration verschiedener Arten von Elementen wie Diagramme, Tabellen, Listen, Karten, usw. aus verschiedenen Quellen, um große Datensätze zu vermitteln.

Aber welche Parameter und im Allgemeinen, was soll berücksichtigt werden, um nützliche (Geo-)Dashboards zu erstellen, damit die Nutzer die beinhalteten Informationen tatsächlich verstehen und sie effektiv nutzen können? Welche Rolle spielen die Webkarten in der Gestaltung und Implementierung von Dashboards? Stellen diese eine wichtige Komponente zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses dar? Und wie gestaltet sich der Vergleich von Dashboards mit und ohne Karten?

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

(Geo-)Dashboards werden in zahlreichen wissenschaftlichen Gebieten und Disziplinen eingesetzt und können Entscheidungsprozesse unterstützen, indem sie auf einen Blick die wichtigsten Informationen zu einem bestimmten Datensatz bereitstellen. Sie stellen jedoch sowohl für den Designer als auch für den Verbraucher Herausforderungen dar. (vgl. Few, 2006)

Einerseits sollten die Designer leicht zu verwendende (Geo-)Dashboards mit qualitativ hochwertigen Informationen aus verschiedenen Quellen und verschiedenen Formaten, sowie eine angemessene Visualisierung dieser Daten entwerfen. Andererseits stehen die Themen der Visuellen- und Datenkompetenz im Vordergrund, wenn der Benutzer nicht über ausreichend dieser Kompetenzen verfügt, kann dies den Erfolg des Dashboards beeinflussen

(vgl. Sarikaya et al., 2019:687). Vazquez Ingelmo et al. (2019) und Alsayahani (2023) weisen ebenfalls auf fehlende Visualisierungs-, Analyse- und Datenkompetenzen hin.

Kitchin und Mcardle (2017:119f.) weisen beispielsweise in Bezug auf „City Dashboards“ darauf hin, dass außer der Navigation auf der Website und der Nutzung der Tools auch ein Problem im Zusammenhang mit der Analyse und der Datenkompetenz vorliegt. Sie betonen, dass Dashboards davon ausgehen, dass die Nutzer die präsentierten Daten verstehen. Jedoch gelangen sie zu dem Schluss, dass dies nicht immer der Fall ist. Sowohl in der allgemeinen Öffentlichkeit als auch bei spezialisierten Nutzern unterscheidet sich die Analyse- und Datenkompetenz erheblich.

Es ist daher notwendig, die Merkmale und Visualisierungen zu identifizieren, die ein (Geo-) Dashboard für Nutzer mit verschiedenen Kompetenzen und Niveaus verständlicher machen, damit sie in der Lage sind, fundierte Entscheidungen zu treffen.

Insbesondere in einem Kontext, in dem Daten einen räumlichen Bezug haben, spielen Karten in der Regel eine entscheidende Rolle. Neben der Standortbestimmung können Karten genutzt werden, um räumliche Muster und Beziehungen zu verdeutlichen (vgl. Kraak, 2005), Wissen zu gewinnen (vgl. Jing et al., 2019) und dies auf eine intuitive und interaktive Weise (vgl. ESRI, 2023), was Nutzer mit verschiedenen Kompetenzen unterstützen kann.

Börner et al. (2016) kommen zu dem Schluss, dass Karten nach „Charts“ unter verschiedenen Visualisierungstypen die zweitbesten lesbaren Visualisierungen sind. Eine treffende Aussage lautet: *“If a picture tells a thousand words, a map tells a thousand pictures”*. (Esri Press, 2017:3)

In dieser Masterarbeit wird die Hypothese aufgestellt, dass mit Hilfe von Geodashboards mit integrierten Karten, der Prozess der Vermittlung von Wissen aus Daten und Modellen, die mit visuellen Mitteln dargestellt werden, das heißt der Prozess der visuellen Analyse, diese Wissensvermittlung effektiver und effizienter wird.

Dies insbesondere in einem Kontext, in dem sich viele Dashboards an die breite Öffentlichkeit richten und dieses Publikum unterschiedliche Datenkompetenzen, analytische Kompetenzen und visuelle Kompetenzen hat.

Das Hauptziel dieser Masterarbeit ist die Gegenüberstellung von Dashboards (mit räumlichem Potenzial, aber ohne eine kartographische Komponente) und Geodashboards mit integrierten Karten in Bezug auf Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit.

Es soll untersucht werden, ob Geodashboards mit integrierten Karten das Verständnis der Informationen und den Analyseprozess von Nutzern mit unterschiedlichen Kompetenzniveaus im Vergleich zu Dashboards ohne Karten erleichtern, beschleunigen und/oder verbessern. Ebenso werden die Präferenzen der Nutzer in Bezug auf diese beiden Geodashboardtypen untersucht.

1.3 Relevanz der Arbeit

Die Bestimmung der Effektivität, der Effizienz und der Nutzerzufriedenheit eines Geodashboards anhand der Anwesenheit oder Abwesenheit einer Karte ist relevant aus verschiedenen Gründen:

Einerseits trägt dies zur Optimierung der Datenpräsentation und zum Design des Geodashboards bei. Durch das Verständnis, wie sich das Ein- oder Ausschließen einer Karte auf die Wahrnehmung und Nutzung des Dashboards auswirkt, können Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und optimierte Verfahren für die Gestaltung zukünftiger Geodashboards entwickelt werden.

Auf der anderen Seite bringt dies nicht nur Vorteile für die Nutzer, indem ihnen ein leistungsfähigeres Werkzeug zur Verfügung gestellt wird, sondern kann auch Zeit und Ressourcen sparen, indem die Entwicklung unnötiger oder weniger effektiver Funktionen vermieden wird.

Bisher fehlen jedoch empirische Untersuchungen, welche die erwähnten Annahmen überprüfen und die tatsächliche Wirkung von Karten in Geodashboards im Vergleich zu Geodashboards ohne Kartenkomponente analysieren. Diese Masterarbeit beabsichtigt, diese Lücke zu schließen.

Auf der Grundlage einer Literaturrecherche und einer empirischen Auswertung wird erwartet, dass die gefundenen Ergebnisse zu zukünftigen Arbeiten im Zusammenhang mit der Erstellung und Gestaltung von Geodashboards beitragen werden, da ermittelt werden soll, welche Parameter und Muster verständliche und effektivere Geodashboards darstellen.

(Geo-)Dashboards sind ein Trend, der sich aus persönlicher Sicht und angesichts ihres wachsenden Erfolgs in immer mehr Wissensbereichen durchsetzen wird und mit immer besseren Technologien und wachsenden Datenmengen ein sehr nützliches Instrument darstellt, welches die Analyse, Überwachung und Entscheidungsfindung in einem Zeitalter, in dem die Zeit drängt, erleichtert. Auch deswegen sind Forschungen in diesem Bereich notwendig.

Diese Masterarbeit soll als Leitfaden sowohl für Geoinformatiker*innen und im Allgemeinen denjenigen Personen dienen, die sich in zukünftigen Tätigkeiten mit Geodashboards beschäftigen oder Interesse daran haben sie zu erstellen, als auch für Institute oder Organisationen, die ihre Informationen durch (Geo-)Dashboards präsentieren.

1.4 Stand der Forschung

In den letzten Jahren haben (Geo-)Dashboards an Relevanz gewonnen, und ihr Einsatz hat sich auf zahlreiche Wissensgebiete ausgeweitet. Nach der ersten Literaturrecherche kann *a priori* festgestellt werden, dass nach der COVID 19 Pandemie des Jahres 2019 die Literatur im Bereich der Dashboards zugenommen hat, insbesondere die auf Karten basierende Literatur. 2020 startet das Johns Hopkins University Center for Systems Science and

Engineering (JHU CSSE) das erste globale Echtzeit-Coronavirus-Überwachungssystem: das JHU CSSE COVID-19 Dashboard. (vgl. Dong et al., 2022: e370)

In früheren Arbeiten wurde bereits die Bedeutung von Dashboards in verschiedenen Bereichen untersucht. Sarikaya et al. (2019) identifizierten einerseits verschiedene Arten der Gestaltung von Dashboards und charakterisierten andererseits die Nutzung und Verwendung von Dashboards, sie behandeln allerdings nicht die Integration von Karten in diesen Dashboards. Yigitbasioglu und Velcu (2012) befassen sich mit der Gestaltung eines Dashboards, dass die kognitiven Fähigkeiten der Nutzer erweitern und ihre Wahrnehmungsfähigkeit ausnutzt, um die Entscheidungsfindung zu verbessern. Jedoch befassen sie sich damit nur auf Unternehmensebene und ebenso wie Sarikaya et al. (2019) behandeln sie nicht das Thema der kartenbasierten Dashboards.

Andere Autoren beschäftigen sich mit der Rolle von Geodashboards in bestimmten Wissensbereichen. Kremser (2020:6), bewertet den Nutzen von Dashboards für das Katastrophenrisikomanagement und vergleicht ihren Einsatz mit konventionellen Methoden wie statischen Karten und Berichten, welche derzeit am häufigsten verwendet werden. Horita et al. (2014) erstellen ein Geosensor-Dashboard zur Echtzeit-Überwachung von Hochwasserrisiko in Brasilien und führen eine Evaluierung des Dashboards durch. Rao et al. (2021) entwerfen und implementieren ein kartenbasiertes Dashboard mit multiperspektivischen Faktoren, wie zum Beispiel die räumliche Ausbreitung von COVID-19, die Einhaltung der sozialen Distanzierung, Umfrageergebnisse zur Visualisierung und statistische Analysen, welche die US-Präsidentchaftswahlen 2020 illustrieren.

Auch in dem Bereich der „(Smart-)City Dashboards“ wurden Forschungsarbeiten durchgeführt. Kitchin et al. (2016) befassen sich mit dem Aufbau des Dublin Dashboards, und beleuchten den kritischen Datenanalyse Aspekt. Kourtiti und Nijkamp (2018) befassen sich mit Dashboards als intelligente Entscheidungshilfen in „Smart Cities“ und heben die Nützlichkeit eines ‚i-dashboard‘ in Stockholm hervor. Young und Kitchin (2020: 1) führen eine Untersuchung von vier städtischen Dashboards bezüglich ihres Designs, ihres Inhalts, ihrer Benutzerfreundlichkeit und ihres Nutzens durch und weisen in diesem Bereich darauf hin, dass obwohl inzwischen viel mehr städtische Daten zur Verfügung stehen, die notwendigen Fähigkeiten und Kompetenzen für die Verarbeitung, Analyse und Visualisierung dieser Daten fehlen. (vgl. Young und Kitchin, 2020: 1)

Im Kontext der Interaktion von Nutzern mit Geodashboards bewerten Zuo et al. (2021a) die Lesestrategien der Nutzer von kartenbasierten Dashboards, sie kombinieren die Methoden der Befragung mit Eye-Tracking. Zuo et al. (2022) schlagen auch Designanforderungen vor und bewerten die Effektivität von einem für sie erstellten Dashboards, mit Hilfe des „Think-Aloud“-Ansatzes.

Häägg (2020) führt eine vergleichende Analyse von Geodashboards durch, in dem der Fokus auf räumlichen Umwelt Daten liegt. Die Autorin vergleicht enthaltene Features und wertet die Interaktion der Nutzer mit einem bestimmten Dashboard aus. Sie schlägt Richtlinien für das Design von Geodashboards vor und erstellt eine Vorlage für zukünftige Geodashboards. Weiterführend schlägt sie vor, das zukünftige Arbeiten sich noch intensiver mit der korrekten Umsetzung der unterschiedlichen Features befassen sollten.

Keine der bisherigen gefundenen Arbeiten hat sich mit dem Vergleich von Geodashboards mit Karten als zentraler Komponente zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses und Geodashboards ohne Karte befasst, um festzustellen, ob die Karten tatsächlich einen Mehrwert darstellen.

Diese Masterarbeit wird weiter auf den bisherigen Erkenntnissen der Literaturrecherche aufbauen und diese als Ausgangspunkt für den spezifischen Bereich der Geodashboards nutzen. Weiterführend werden die Features auf ihr Verbesserungspotenzial hin analysiert und die gefundenen Gestaltungsanforderungen werden berücksichtigt, um die Forschungsfrage beantworten zu können.

1.5 Hypothesen und Forschungsfragen

➤ Hypothesen

H. Die Einbeziehung von Karten in Geodashboards, welche hierfür geeignet sind, verbessert die Effektivität und Effizienz der Datenvisualisierung und des Analyseprozesses im Vergleich zu Geodashboards ohne Karten.

➤ Forschungsfrage

FF. Wie beeinflusst die Integration von interaktiven Karten in (Geo-)Dashboards im Vergleich zu Geodashboards ohne Kartenkomponente die Performance, das Verständnis und die Analyse von (Geo-)Daten?

➤ Arbeitsfragen

- **F1.** Welche Faktoren und Merkmale sollen berücksichtigt werden, um die Verständlichkeit und Nutzbarkeit von Geodashboards sowie die effektive Analyse und Interpretation von (Geo-)Daten durch unterschiedliche Nutzergruppen zu gewährleisten?
- **F2.** Inwiefern beeinflussen interaktive Karten in Geodashboards die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Entscheidungsfindung im Vergleich zu Dashboards ohne eine kartographische Komponente?
- **F3.** In welchem Ausmaß unterscheiden sich die Benutzerpräferenzen zwischen Dashboards mit und ohne Kartenkomponente?

1.6 Struktur der Arbeit und methodischer Ansatz

Um das Ziel zu erreichen und die Forschungsfragen beantworten zu können, wird nach dieser Einleitung (**Kapitel 1**), diese Masterarbeit in zwei Teile gegliedert, nämlich einen theoretischen Teil (**Kapitel 2**) und einen praktischen Teil (**Kapitel 3**).

Da es sich bei (Geo-)Dashboards um Zusammenstellungen von Visualisierungen zur Informationsvermittlung handelt, ist es wichtig, einerseits die Konzepte und Prozesse im

Zusammenhang mit den (Geo-) Visualisierungen und andererseits mit der (kartographischen) Kommunikation, welche im **Unterkapitel 2.1** vorgestellt werden.

In dem (kartographischen) Kommunikationsprozess spielen drei wesentliche Akteure zusammen eine wichtige Rolle, nämlich die Visualisierungen (als Dashboard), Nutzer*innen und Designer*innen (oder Kartograph*innen) (**Abschnitt 2.1.1**). Durch die Erkundung und Interaktion mit den Visualisierungen sollten Nutzer*innen in der Lage sein, Schlussfolgerungen zu ziehen und Erkenntnisse zu gewinnen, was der visuellen Analyse entspricht (**Abschnitt 2.1.2**).

Die korrekte Gestaltung von Visualisierungen ist entscheidend für das Verständnis der Informationen. Dazu ist es notwendig, die menschliche visuelle Informationsverarbeitung zu verstehen, um zu erkennen, wie Nutzer*innen Informationen wahrnehmen und verarbeiten. Designer können sich dieses Wissen zunutze machen, indem sie Theorien wie z.B. Gestaltprinzipien anwenden, um Visualisierungen zu erstellen, die für den Benutzer klarer sind (**Abschnitt 2.1.3**). Allerdings nehmen nicht alle Nutzer*innen Visualisierungen auf die gleiche Weise wahr und verstehen sie. Unterschiedliche Nutzer*innen haben unterschiedliche Kompetenzen und Vorkenntnisse (**Abschnitt 2.1.4**). Daher ist es wichtig zu untersuchen, ob eine bestimmte Art der Visualisierung für verschiedene Nutzer*innen mehr Vorteile bietet.

Andererseits bietet das Verständnis von (Geo-)Dashboards und ihrer Entstehung einen Kontext für ihre Rolle in realen Situationen und weist auf mögliche zukünftige Anwendungen in verschiedenen Bereichen hin. Dies hilft dabei, ihren Nutzen und ihr Potenzial für die geographische und raumbezogene Entscheidungsfindung zu verstehen. (**Unterkapitel 2.2 – 2.4**)

Ebenso ist eine klare Definition der Komponenten dieser Geodashboards sowie ihre verschiedenen Arten und Eigenschaften ebenfalls entscheidend, für den Entwurf, die Entwicklung und die Verbesserung effizienter Dashboards, die den Bedürfnissen verschiedener Nutzer entsprechen (**Unterkapitel 2.5**). Eine der in der Regel relevantesten Komponenten von Geodashboards und das Hauptthema dieser Arbeit sind die Karten (**Kapitel 2.6**). Daher wird ihre Bedeutung, ihre Entwicklung im digitalen Zeitalter (**Abschnitt 2.6.1**) und ihre Funktionen im WWW (**Abschnitt 2.6.2**) vorgestellt. Anschließend werden die Technologien für die Erstellung von Geodashboards vorgestellt und ein Vergleich durchgeführt, um die Technologie, welche für die Prüfung der Hypothese am besten geeignet ist, auszuwählen (**Kapitel 2.7**). Zum Schluss werden die Schlussfolgerungen dieses Kapitels präsentiert (**Abschnitt 2.8**).

Nach der systematischen Suche nach wichtigen Merkmalen, Komponenten, Funktionalitäten und Designs von (Geo-)Dashboards aus einer akademischen und wissenschaftlichen Perspektive und basierend auf den Literaturerkenntnissen folgt der praktische Teil (**Kapitel 3**).

In diesem Kapitel wird zuerst das „Use Case“ Thema: Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Dekarbonisierung beschrieben (**Unterkapitel 3.1**). Im Weiteren werden zwei Geodashboard Prototypen zu vorab erwähntem Thema erstellt. Eins mit einer integrierten Karte und das andere ohne Karte (**Unterkapitel 3.2**). Im **Unterkapitel**

3.3 wird die Gestaltung des Evaluierungsplans dargestellt. Es werden die Methoden „Task-Solving“ und eine strukturierte Befragung zur Evaluierung der Prototypen verwendet, um herauszufinden, ob Dashboards mit integrierten Karten im Gegensatz zu Dashboards ohne Kartenkomponenten das Lösen von Aufgaben, das Verständnis von Daten und die Entscheidungsfindung in der Praxis erleichtern können und, ob Karten einen Mehrwert für Dashboards darstellen. Zum Schluss dieses Kapitel erfolgt die Auswertung des Prototyps **Unterkapitel 3.4** mittels statistischer Auswertung.

Im **Kapitel 4** sind sowohl die Interpretation der Ergebnisse (**Unterkapitel 4.1**) als auch die Beantwortung der Forschungsfragen (**Unterkapitel 4.2**) zu finden.

Eine Zusammenfassung und Conclusio der vorliegende Masterarbeit erfolgt im **Kapitel 5**. Zum Schluss ist die herangezogene Literatur zu finden.

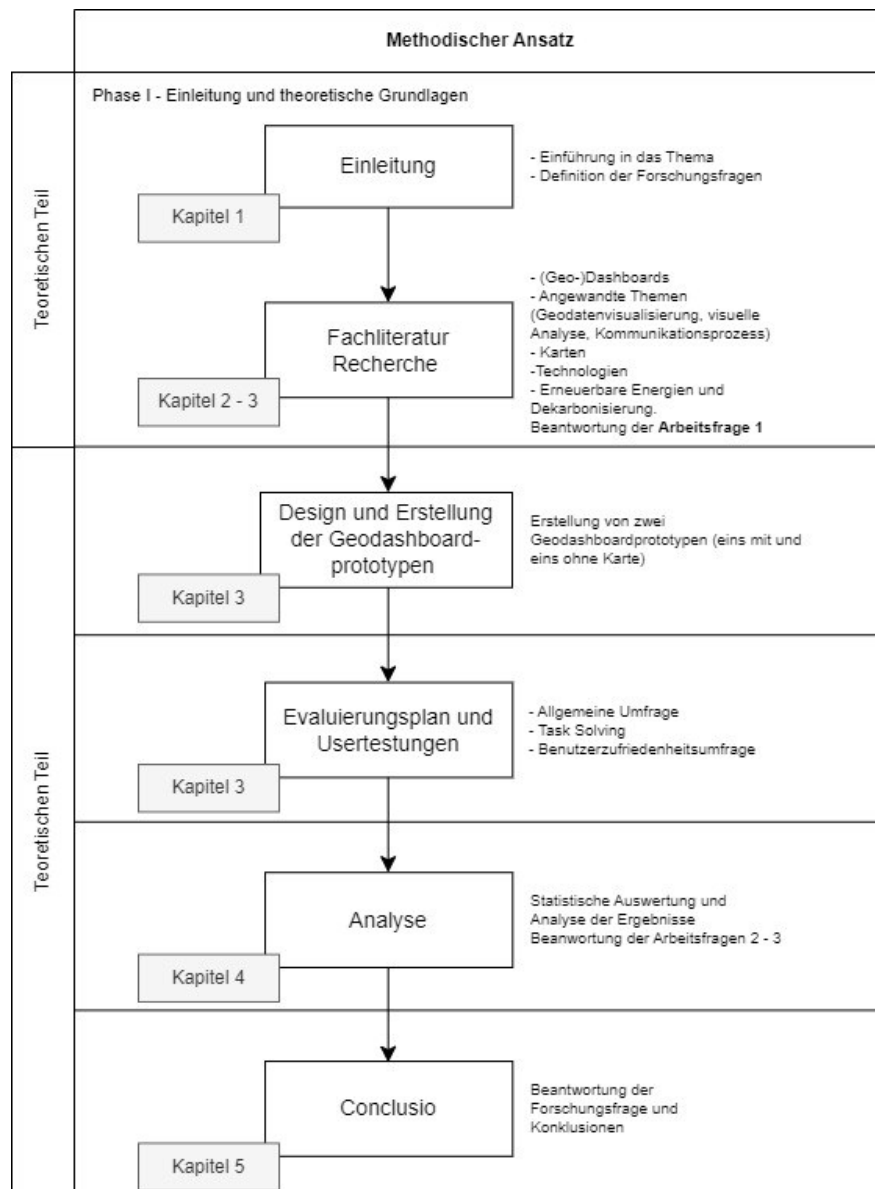


Abbildung 1. Methodischer Ansatz.
Quelle: Eigene Abbildung

2 Theoretische Grundlagen

Um die Relevanz dieser Forschung zu verstehen, ist es wichtig, Konzepte zu erörtern, die eng mit (Geo-)Dashboards verbunden sind und eine wichtige Rolle bei der effektiven Präsentation und Analyse von Informationen spielen.

Zu diesen Konzepten gehören die Datenvisualisierung, der (kartografische) Kommunikationsprozess, die visuelle Analyse, kognitive Prozesse und Benutzerkompetenzen. Nachdem die konzeptionellen Grundlagen geschaffen wurden, konzentriert sich dieses Kapitel auf die Beschreibung der theoretischen Grundlagen von Geodashboards. Die ersten Abschnitte dieses Kapitels sind daher den theoretischen Grundlagen dieser fundamentalen Konzepte gewidmet.

Anschließend werden Themen wie die Definition von (Geo-)Dashboards, ihre historische Entwicklung, verschiedene Arten dieser (Geo-)Dashboards, Dashboards in der Geoinformation, sowie interaktive Webkarten als wichtiger Bestandteil von Geodashboards erörtert. Außerdem wird beschrieben, welche Technologien für ihre Erstellung zur Verfügung stehen und welche Vorzüge und Limitationen diese haben. Abschließend wird erläutert, welche Komponenten, Eigenschaften und Funktionalitäten Geodashboards aufweisen sollten.

Um die Begriffe klar voneinander zu trennen, wird das Wort "Geodashboard" für Dashboards verwendet, die eine Karte als zentrales Element enthalten und räumliche Daten direkt auf dieser visualisieren. „(Geo-)Dashboard“ hingegen bezeichnet Dashboards, welche nicht zwingend eine Karte integrieren.

2.1 Geodatenvisualisierung, kartographischer Kommunikationsprozess, visuelle Analyse und Nutzerkompetenzen („Literacies“)

2.1.1 (Kartographischer) Kommunikationsprozess und (Geo-)Visualisierung

Im Bereich der Wissensvermittlung ist die Visualisierung von Daten und Informationen seit den frühesten menschlichen Zivilisationen ein wesentliches Instrument, um das Verständnis und die Kommunikation zu verbessern.

Menschen haben seit mindestens 17.000 Jahren versucht, Informationen visuell darzustellen. Die Lascaux-Höhlenmalereien, die auf etwa 15.000 v. Chr. datiert sind, sind ein Beispiel dafür. (vgl. Friendly & Wainer, 2020)

Im Laufe der Zeit hat sich die Datenvisualisierung von den frühesten visuellen Inschriften und Karten, wie dem antiken Stadtplan von Catalhöyük vor achttausend Jahren, welche Informationen über den Grundriss einer antiken Siedlung liefert, über den komplizierten Holzschnitten und Gravuren, die mit dem Aufkommen des Buchdrucks einhergingen, bis hin zu modernen interaktiven Visualisierungen entwickelt, die mit digitalen Werkzeugen erstellt werden. (ebd.)

Die Verwendung von Piktogrammen und Ideogrammen zur Darstellung von Informationen und Ideen, die Darstellung von numerischen Daten in Tabellen und Diagrammen, die Nutzung von Karten und visuellen Beschriftungen zur Darstellung von geografischen und räumlichen Informationen sind Visualisierungsbeispiele, die dazu dienen, Informationen auf verständliche Weise zu vermitteln. (vgl. Friendly & Wainer, 2020)

In diesem Kontext es ist wichtig den Unterschied zwischen Data und Informationen zu verstehen. Zeleny (1987) und Ackoff (1989), dem die Konzipierung der Wissenshierarchie zugeschrieben wird, weisen nicht nur auf den Unterschied zwischen Daten und Informationen hin, sondern stellen auch eine Hierarchie auf, die sozusagen die Transformation von Daten über Informationen und Wissen bis zur Weisheit zeigt.

Diese Hierarchie wird auch als DIKW „Data, Information, Knowledge and Wisdom“ bezeichnet. (vgl. Jifa, 2013:713ff.) Ackoff (1989) schlägt eine fünfte Stufe in der Hierarchie zwischen Wissen und Weisheit vor, nämlich Verständnis oder „understanding“.

Daten sind die rohe Darstellung der Eigenschaften von Objekten und Ereignissen. Wenn die Daten verarbeitet werden, werden sie zu Informationen, welche konziser und nützlicher sind. (vgl. Ackoff, 1989) „[...] the difference between data and information is functional, not structural, but data are reduced when they are transformed into information“ (Ackoff, 1989:3).

Wissen hingegen ist das, was durch Anweisungen und Antworten auf praktische Fragen erworben wird, während Verständnis durch Erklärungen vermittelt wird. Effizienz kann im Gegensatz zu Effektivität durch Information, Wissen und Verständnis erreicht werden. Die letzte Stufe, "Weisheit" ist das, was den Menschen vom Computer unterscheidet. Weisheit beinhaltet subjektive Werturteile, welche in der Regel von Person zu Person variiert und zu einer Zunahme der Effektivität führen kann. (vgl. Ackoff, 1989:4ff.)

Autoren wie Jifa (2013) und Bellinger et al. (2004) betrachten „understading“ jedoch nicht als eine separate Ebene, sondern als einen Schritt zwischen den einzelnen Phasen. (siehe Abbildung 2)

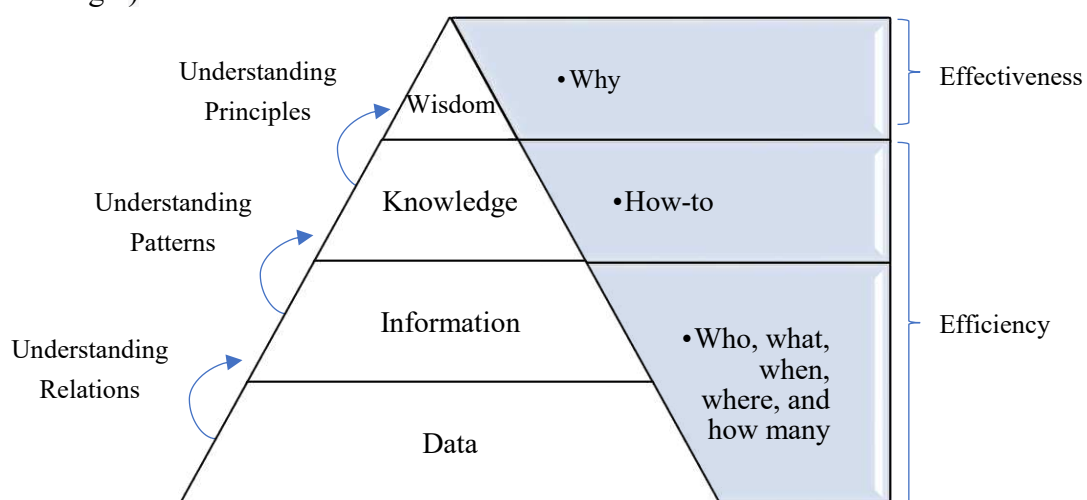


Abbildung 2. DIKW Pyramid
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ackoff, (1989) und Bellinger (2004))

Eine große Menge an komplexen (Geo-)Daten können in visuelle Darstellungen umgewandelt werden, aus denen die zugrunde liegenden Trends und Muster und Korrelationen ersichtlich werden, welche [bei der Menge an Daten und Informationen, die derzeit verarbeitet werden,] in Form von Text und Zahlen unsichtbar bleiben würden. (vgl. Zhou, 2023:60) Mit anderen Worten: Daten werden in konsumierbare Informationen in visueller Form umgewandelt, um die Exploration der Daten zu erleichtern.

„Data visualization is the graphical representation of the significance of data [...]” (Zhou, 2023:60). Mit dem Aufkommen digitaler Werkzeuge ist es heutzutage möglich, interaktive und dynamische Visualisierungen zu erstellen, die es dem Anwender erleichtern, die Daten aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten. In der Digitalumgebung erfolgt die Datenübertragung vom Computer zum Benutzer meistens über visuelle Displays, in welchen interaktive Visualisierungen auftauchen. (vgl. Ware, 2004:2)

Disziplinen wie (Geo-)Datenanalyse, (Geo-)Datenmanagement, die explorative Datenanalyse (EDA), Kartographie und Geoinformation, Statistik, Data Mining und Maschine Learning, Mensch-Computer-Interaktion, Entscheidungs- und kognitive Wissenschaften, Wahrnehmungspsychologie sind unter anderem relativ zum Bereich der Visualisierung (vgl. Andrienko et al., 2007; Keim et al., 2008a; Keim et al., 2008b Ward et al., 2015) und sind in den verschiedenen Phasen des Datenvisualisierungsprozesses vorhanden.

Der Datenvisualisierungsprozess besteht aus vier grundlegenden Phasen (siehe Abbildung 3). Dazu gehören (1) die Erfassung und Speicherung von Daten, (2) die Verarbeitung von Daten in verständliche Informationen, (3) die Visualisierung von Daten und (4) das menschliche Wahrnehmungs- und Kognitionssystem der Nutzer (vgl. Ware, 2004:4f.), das die Datenanalyse durchführt, um Entscheidungen zu treffen und welches Wissen erwirbt.

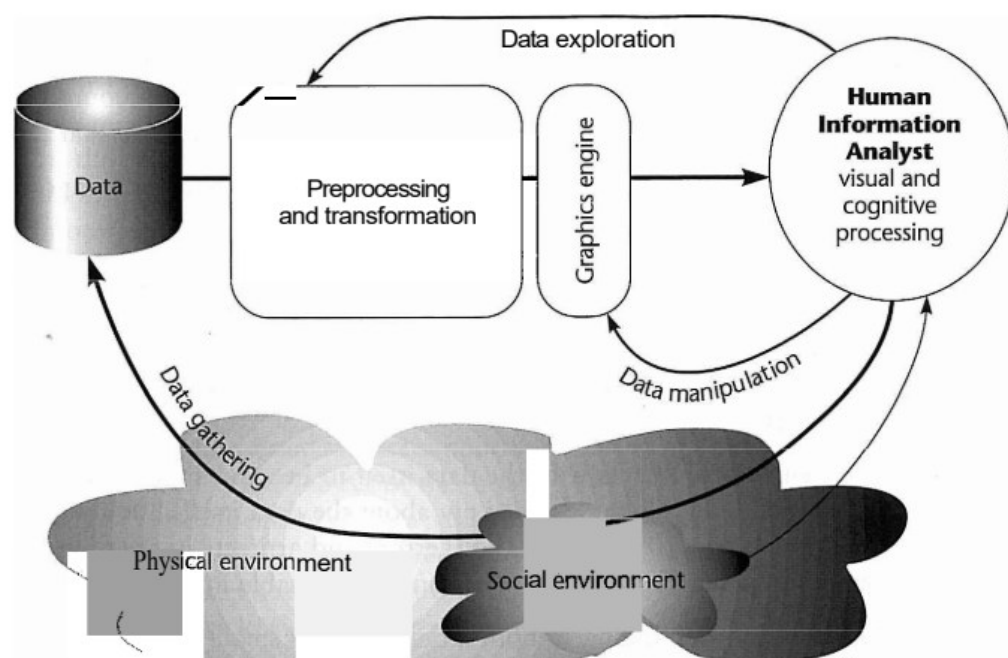


Abbildung 3. Datenvisualisierungsprozess
Quelle: (Ware, 2004:4f.)

Damals erfolgte die Visualisierung räumlicher Informationen in der Regel in Form von statischen Karten, was für die Darstellung und Kommunikation verschiedener Phänomene bereits nützlich war. Der Übergang der Kartographie in das digitale Zeitalter ermöglichte das Aufkommen der Geovisualisierung. (vgl. Çöltekin et al., 2020:117)

In diesem Übergang hat sich ebenfalls der kartographische Kommunikationsprozess verändert. Damals war die Rolle der Nutzer nicht von so großer Bedeutung wie heute. Als die Karten noch gedruckt und deswegen statisch waren, wurde der kartografische Kommunikationsprozess in einem linearen und unidirektionalen Modell dargestellt, in dem es keinen Raum für Feedback gab. (vgl. Kent, 2018)

In den 1960er Jahren entstanden die ersten Kartenkommunikationsmodelle, die auf Aspekten der Informationstheorie beruhten. (vgl. Kent, 2018:96)

Diese Informationstheorie entspricht laut Martignon (2001: 7476): „[...] *the mathematical treatment of the concepts, parameters and rules governing the transmission of messages through communication systems. It was founded by Claude Shannon [...]*”

In dieses Kommunikationssystem überträgt ein Sender Informationen an einen Empfänger mittels eines Kanals („Channel“). (Shannon, 1948:380f.) (siehe Abbildung 5)

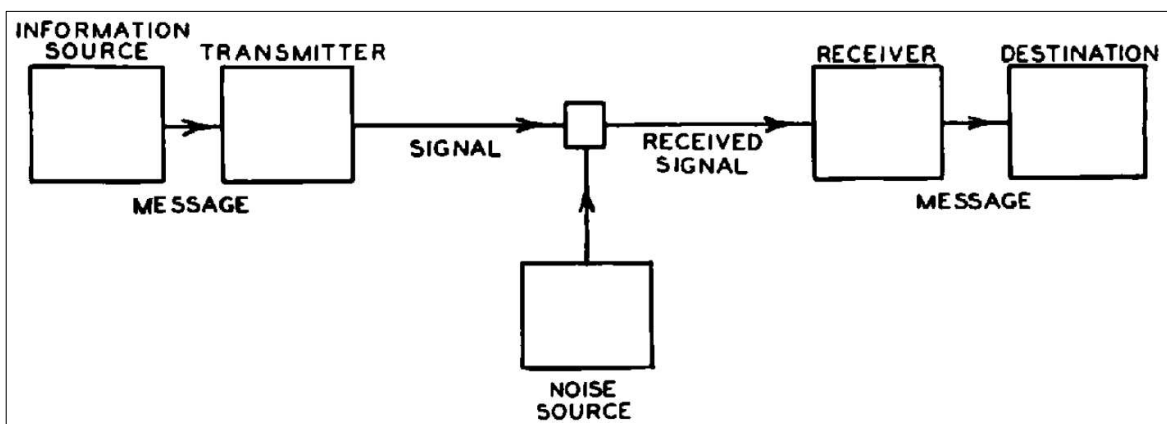


Abbildung 5. "Schematic diagram of a general communication system"
Quelle: (Shannon, 1948:381)

In der Kartographie würde der Sender dem Kartograph*innen entsprechen, der Kanal der Karte und der Empfänger ist der Benutzer.

Eines der einflussreichsten wissenschaftlichen Modelle der Kartenerstellung ist nach Kent (2018) das von Koláčný aus dem Jahr 1969. (vgl. Kent, 2018:99) (siehe Abbildung 6. Koláčný's (1969) kartographisches Kommunikationsmodell.

Dieses Modell veranschaulicht, wie Kartograph*innen die Realität beobachten und sie in kartographische Informationen in Form von Symbolen auf Karten umwandeln. Die Nutzer*innen interpretieren diese Symbole, um ihr eigenes Verständnis der Realität auf der Grundlage der kartographischen Informationen zu entwickeln. (vgl. Kent, 2018:100f.)

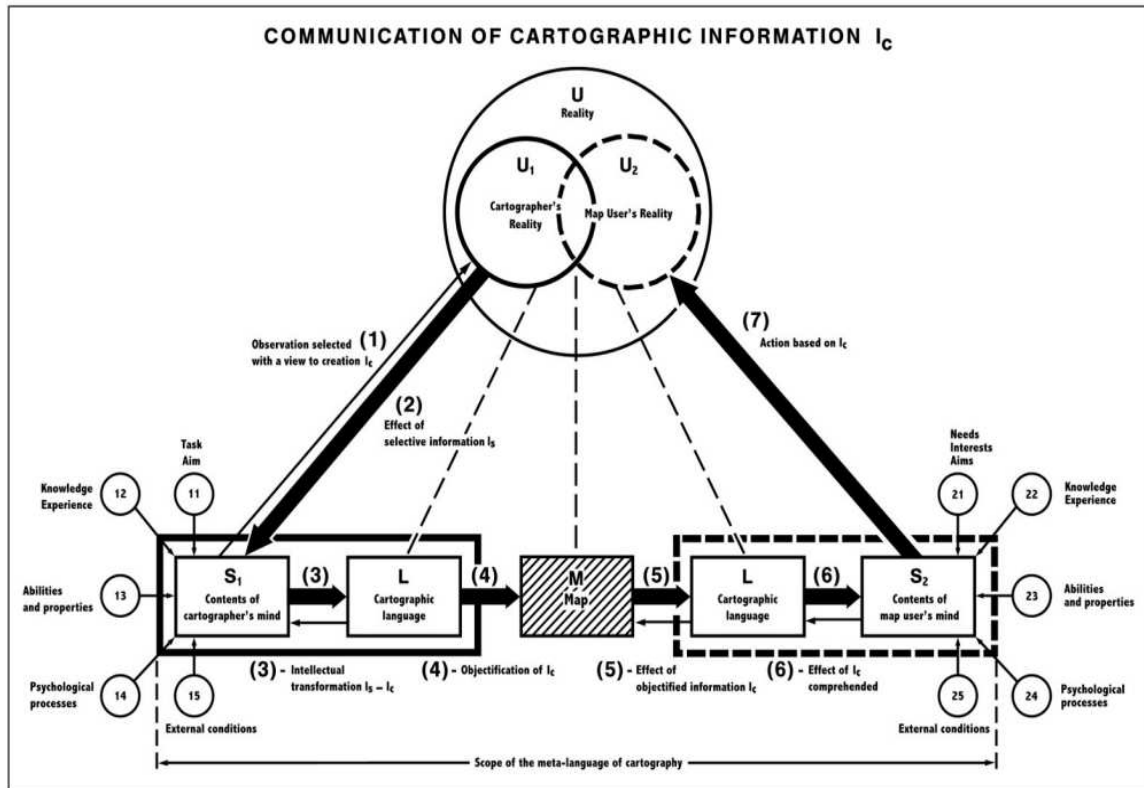


Abbildung 6. Koláčný's (1969) kartographisches Kommunikationsmodell.

Quelle: ("redrawn from Koláčný, 1969 and reproduced courtesy of the British Cartographic Society" (Kent, 2018:100)

Der „Störfaktor“ („Noise“), bereits in der Informationstheorie erwähnt, wurde im Jahr 1975 im Bereich der Kartographie gemäß Kent (2018:101) von Robinson und Petchenik berücksichtigt. Neben „Noise“ haben sie sich auch mit Begriffen wie „Encoding“, „Decoding“ und „Transmission“ im kartographischen Umfeld auseinandergesetzt. (vgl. Kent, 2018:101) (siehe Abbildung 7)

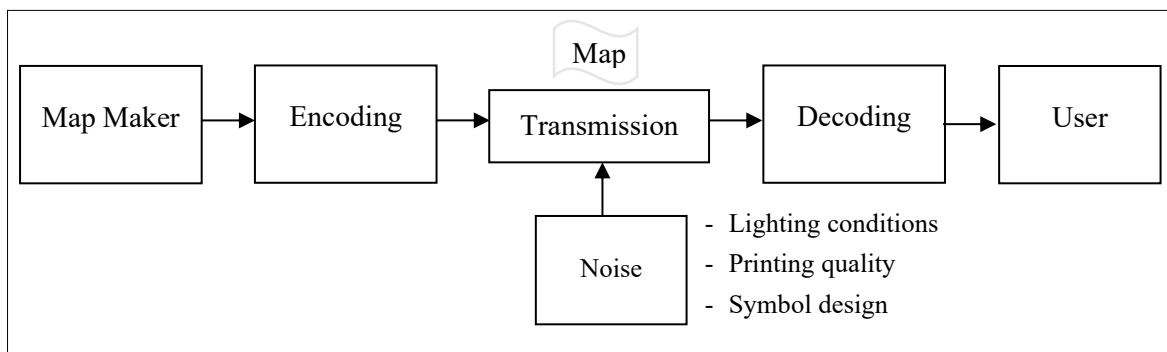


Abbildung 7. Elemente des kartografischen Kommunikationsmodells

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Kent (2018:) nach Robinson and Petchenik (1975)

Außer der Berücksichtigung von Faktoren wie „Noise“ in kartografischen Kommunikationsmodellen, die zu Informationsverlusten und damit eine Störung des Kommunikationsprozesses verursachen können, wurden auch andere Faktoren wie die Wahrnehmung des kartografischen Designs in Betracht gezogen, wofür die Gestalttheorie entwickelt wurde. (vgl. Kent, 2018:101f.) Der Kontext der Kartennutzung und das Verständnis und Wahrnehmung der Nutzer wurden immer wichtiger.

Zu diesem Zeitpunkt lag der Fokus jedoch noch auf der Erstellung präziser Karten mit notwendigen Inhalten und angemessener Symbologie. Sobald die Karte gedruckt war, war eine erneute Bearbeitung und ein erneuter Druck ein kostspieliger und zeitaufwendiger Prozess. Deswegen wurden Karten weiterhin noch ausschließlich als Instrumente zur Übermittlung von Informationen an die Nutzer betrachtet, so dass der [„unwiderlegbaren“] Inhalt praktisch aufgezwungen wurde, ohne die Möglichkeit von Feedback oder Interaktion zu berücksichtigen. (vgl. Kent, 2018)

Nach Kent (2018:103) weisen Autoren wie Keates (1996), der Karten nicht als Botschaft, sondern als Möglichkeit betrachtet, darauf hin, dass diese Ansätze mehrere Einschränkungen haben.

“Keates (1996: 122) [...] the wealth of human experience and knowledge, and the infinite ways in which a map’s array of symbols are interpreted, cannot be limited to a closed system.” (Kent, 2018:103)

Nicht alle Kartenkonsument*innen haben dieselbe Wahrnehmung und interpretieren die präsentierten Informationen möglicherweise unterschiedlich. Daher ist Feedback wichtig, um sicherzustellen, dass die gewünschte Aussage auch tatsächlich empfangen wird. Aus diesem Grund hat sich die Kartographie von einem rein designorientierten zu einem nutzerorientierten Ansatz entwickelt, bei dem Feedback eine Schlüsselrolle spielt. (vgl. Kent, 2018)

Dies gilt insbesondere in einem Kontext des raschen technologischen Fortschritts, in dem sich die Herstellung, Nutzung, Verbreitung und Verteilung von Karten erheblich weiterentwickelt hat. Angefangen mit der Digitalisierung von Karten, der Verbesserung der Genauigkeit der Datenerfassung durch Systeme wie „Global Navigation Satellite System“ (GNSS). Die zunehmende Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von (offenen) (Geo-)Daten, zum großen Teil dank des Internets und des Web, hat wiederum zur Entwicklung einer Vielzahl von Softwarelösungen geführt, die sowohl für Experten als auch für Nichtexperten mit unterschiedlichen Hintergründen und Bedürfnissen anwendbar sind. (vgl. ebd.)

Der technologische Wandel hat zu einer Transformation in der Konstellation der Kartographie im Allgemeinen und somit auch in den kartographischen Kommunikationsmodellen geführt. Die zunehmende Vielfalt der Nutzer*innen, sowohl hinsichtlich ihrer fachlichen Expertise als auch ihrer individuellen Bedürfnisse, spiegelt sich in der dynamischen Entwicklung kartographischer Technologien und Anwendungen wider. Dies führte zu einer Veränderung der traditionellen Rollen von Kartograph*innen und Nutzer*innen. (vgl. ebd.)

Die Herstellung von Karten ist nicht mehr ausschließlich auf Kartograph*innen beschränkt. Selbst unerfahrene Nutzer*innen, oder jene ohne Vorkenntnisse in Kartographie (auch als „Neocartographers“ bezeichnet), welche bislang lediglich Kartenkonsument*innen waren, verfügen über alle technischen Möglichkeiten, um ihre eigenen Karten zu entwerfen oder von anderen freigegebenen Karten zu bearbeiten und diese wieder zu teilen. (vgl. Kent, 2018)

“The term neocartographers is being used to describe map makers who may not have come from traditional mapping backgrounds, and are frequently using open data and open source mapping tools.” (Chilton & Chilton, 2013:52)

Dies fördert eine massivere Verbreitung der Karten und einen stärkeren partizipatorischen Ansatz, da sich eine breitere Bevölkerung aktiv am Prozess der Erstellung und Bearbeitung der Karten beteiligen kann.

Diese Tendenz bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich. Einerseits werden grundlegende kartographische Prinzipien nicht immer berücksichtigt, da viele Nutzer der Neokartographie keine formale Ausbildung in diesem Bereich haben. Andererseits hat der Kartograph oder „map-maker“ weniger Kontrolle über die Karte, sobald sie geteilt wurde. (vgl. Kent, 2018)

In Bezug auf Letzteres weist Kent (2018:105) darauf hin: *“Today, the cartographer has much less control over how their maps are seen, by whom, when and where. Variations in screen size, format, resolution, colour and brightness allow for a multitude of viewing experiences, while global dissemination can be achieved faster than ever before.”*

Außerdem betont er die Bedeutung der sozialen Medien, die exponentielle Verbreitung von Karten über diese Plattformen sowie die Interaktivität und Unmittelbarkeit des Feedbacks und präsentiert ein neues Modell der Kartenkommunikation (siehe Abbildung 8).

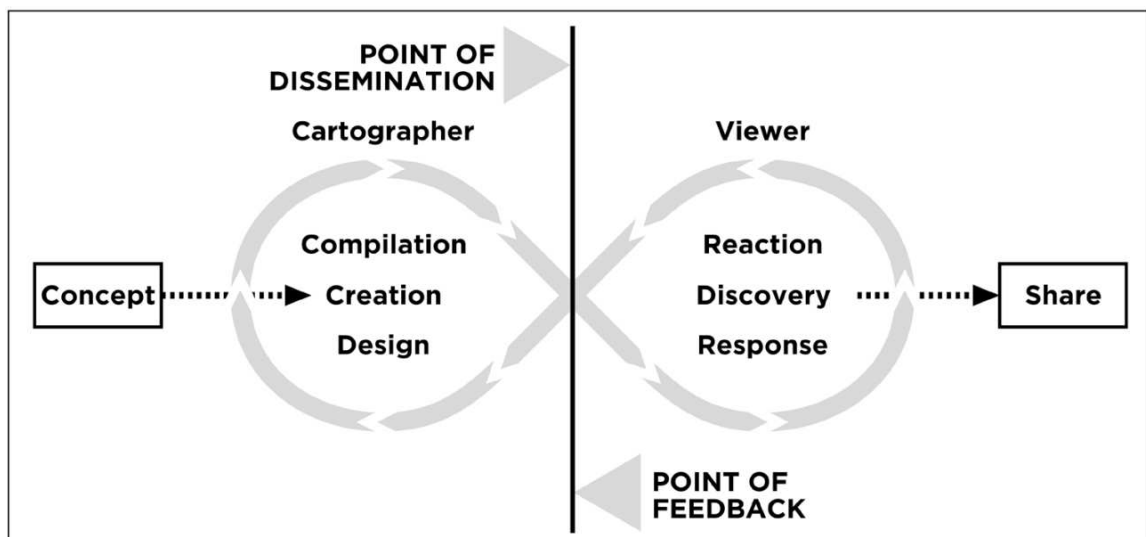


Abbildung 8. ein neues kartographisches Kommunikationsmodell
Quelle: (Kent, 2018:107)

In Kents Modell (2018:105) ist der kartographische Kommunikationsprozess nicht mehr unidirektional, sondern bidirektional und interaktiv. In diesem spielt der Nutzer im Gegensatz zu den oben erwähnten traditionellen Modellen eine wichtige Rolle. Daher sind das Feedback und die Wahrnehmung der Nutzer relevant. Der Einsatz digitaler Tools ermöglicht zudem schnelle Änderungen des Kartendesigns auf der Grundlage von Nutzerfeedback und -präferenzen.

Kent (2018) schlägt dieses Modell für ein Szenario vor, in dem Karten über soziale Netzwerke verbreitet werden. Dies hat mehrere Auswirkungen. Einerseits wird der Erfolg

der Karten durch das Feedback (in Form von „Likes“, „Shares“ usw.) in den sozialen Netzwerken gemessen. Andererseits werden solche Informationen nicht aktiv gesucht, sondern durch „Scrollen“ gefunden, meist zur Unterhaltung. Wenn sie als interessant empfunden werden, werden sie genauer untersucht. Daher sind die emotionalen und sensorischen Erfahrungen der Kartennutzer in diesem Zusammenhang wichtiger. (vgl. Kent, 2018) Dieses Modell kann jedoch auch in anderen Szenarien angewendet werden, nicht nur bei publizierten Karten in sozialen Medien.

Im Laufe der Zeit haben sich kartografische Kommunikationsmodelle durch Anpassungen und Änderungen im Zuge des technologischen Fortschritts sowie durch verschiedene Standpunkte weiterentwickelt.

Trotz dieser unterschiedlichen Ansichten haben die traditionellen Modelle ein dauerhaftes Werk in der Kartengestaltung und -forschung hinterlassen und das Kommunikationsparadigma besteht bis zum heutigen Tag fort. (vgl. Kent, 2018).

Es haben sich zwar die Technologien, die Kanäle und die Mittel, mit denen die Informationen übermittelt werden, sowie die Art und Weise, wie diese konsumiert werden geändert, aber die Kommunikation ist nach wie vor ein wesentlicher Aspekt der Kartographie. Sie bildet die Brücke zwischen dem Kartograph*innen oder Map-Maker und dem Nutzer*innen, um Informationen zu vermitteln, (vgl. ebd.). Allerdings hat sich die Gewichtung der "Elemente" des Modells verändert.

2.1.2 (Geo-)Visual analytics

Spezifischer in Bezug auf Kartographie und Geoinformation veröffentlichte die International Cartographic Association (ICA) Commission im Jahr 2001 eine Forschungsagenda für Geovisualisierung. Der Forschungsfokus lag und liegt auf Themen wie: Daten-Darstellung und Interface Design, Visualisierungen – Computer Integration, kognitive Probleme sowie Visualisierung zum Wissenserwerb. Zudem wurden mit dem Aufkommen der "visuellen Analytik" auch Themen behandelt wie: „[...] *Data Mining and [...] decision making techniques through spatial thinking, visualization, analytical reasoning and knowledge engineering.*“ (ICA – International Cartographic Association, 2012; MacEachren & Kraak, 2001)

In Bezug auf die visuelle Analyse oder „visual analytics“, zielt sie darauf ab, aus einer großen Datenmenge Erkenntnisse zu gewinnen, indem die menschlichen Kompetenzen und die analytischen Fähigkeiten von Computern ausgenutzt und integriert werden. (vgl. Keim et al., 2010)

Diese Interaktion Computer-Mensch ist Teil des visuellen Analyseprozesses oder (siehe Abbildung 9.) In diesem Prozess wird das Wissen durch die Interaktion des Benutzers mit den aus den Daten erstellten Visualisierungen und Modellen vermittelt. (vgl. Keim et al., 2010:10). Ausgehend von den erworbenen Kenntnissen und nach der Logik der oben erwähnten DIKW-Pyramide wäre der nächste Schritt die Beurteilung und Bewertung der Ergebnisse (Wisdom), um bessere Entscheidungen zu treffen.

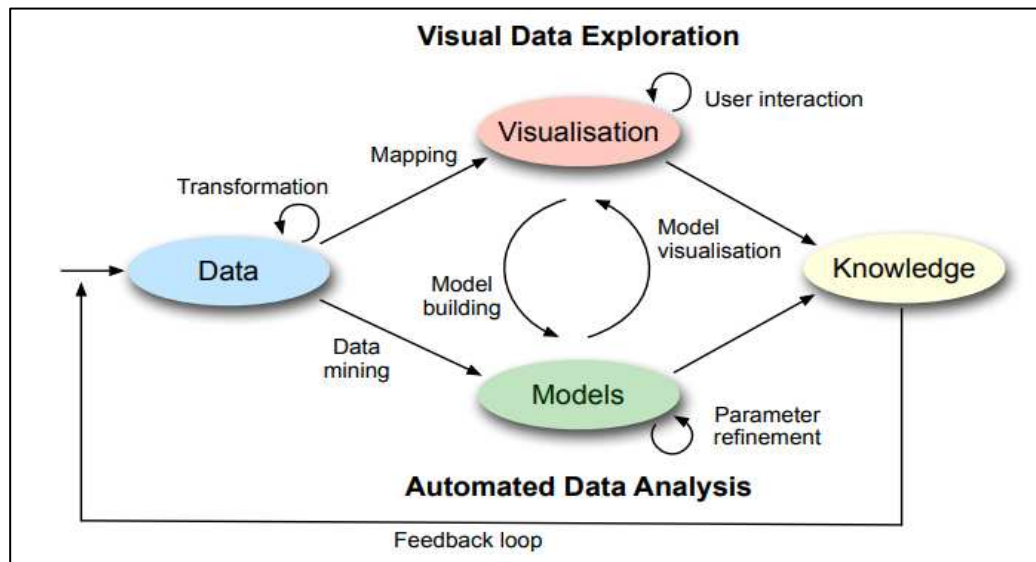


Abbildung 9. Feedback-Schleife
Quelle: (Keim et al., 2010:10)

„Geovisual analytics refers to the science of analytical reasoning with spatial information as facilitated by interactive visual interfaces.“ (Robinson, 2017)

Im Gegensatz zur Geovisualisierung, welche Çöltekin et al. (2020) als Vorläuferbereich der geovisuellen Analysen oder „Geovisual Analytics“ einordnen und welche vor allem dazu dient, die Datenexploration zu erleichtern, ermöglicht die geovisuelle Analyse die Auswertung eines größeren und komplexeren Datensatzes und ist hauptsächlich darauf ausgerichtet, den Prozess des analytischen Denkens oder "analytical reasoning" zu unterstützen (vgl. Roth et al., 2009). Letzteres bezieht sich auf die Suche nach Mustern durch die Untersuchung von Informationen. (Robinson, 2017)

„Geovisual Analytics“ erforscht auch die menschliche Fähigkeit, aus Geodaten zu schlussfolgern, sie zu synthetisieren und mit ihnen zu interagieren (vgl. Çöltekin et al., 2020), hauptsächlich in digitalen Umgebungen durch interaktive visuelle Interfaces.

(Geo-)Dashboards sind eines der Werkzeuge, mit denen der Benutzer visuelle Analyseprozesse durchführen kann. Sie enthalten verschiedene Visualisierungswerkzeuge, um den Wissenserwerb und die Entscheidungsfindung der Nutzer zu unterstützen. Darüber hinaus können Geodashboards gegen Informationsüberlastung helfen, indem sie die Visualisierung und Kommunikation von multigranularen und multivariaten Geodateninformationen ermöglichen (vgl. Zuo et al., 2019:19)

2.1.3 Visuelle Wahrnehmung und Kognition

Bei der Präsentation von Informationen ist es wichtig, zusätzlich zu den visuellen Darstellungen zu berücksichtigen, wie die Nutzer*innen mit den Daten interagieren und wie diese verstanden und wahrgenommen werden. (vgl. Ward et al., 2010; 2015: 23)

Die Hauptmethode, mit der die meisten Informationen erfasst werden, ist die visuelle Wahrnehmung (vgl. Ware, 2004:2), deswegen spielen Visualisierungen eine wichtige Rolle im Lern- und Wissenserwerbsprozess.

"We acquire more information through vision than through all of the other senses combined. The 20 billion or so neurons of the brain devoted to analyzing visual information provide a pattern-finding mechanism that is a fundamental component in much of our cognitive activity." (Ware, 2004:2)

Colin Ware (2004) schlägt ein dreistufiges Modell der menschlichen visuellen Informationsverarbeitung: (siehe Abbildung 10)

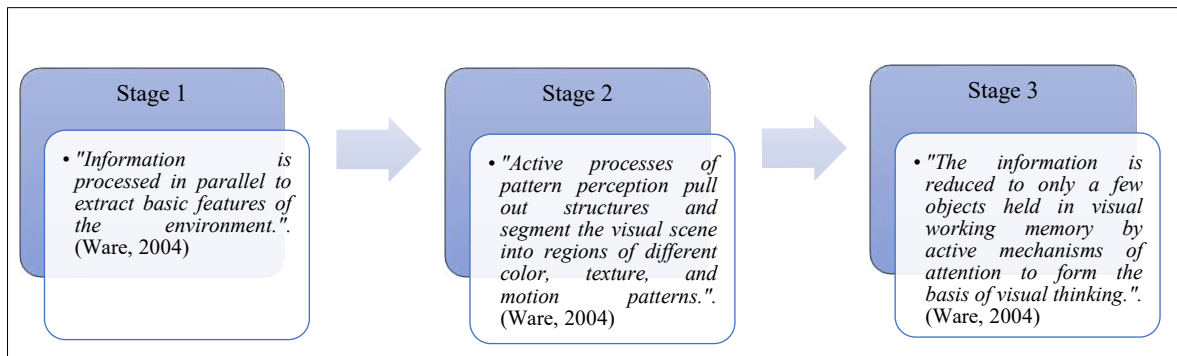


Abbildung 10. „A three-stage model of human visual information processing.“
Quelle: In Anlehnung an Ware (2004)

In den letzten Jahren wurde die visuelle Wahrnehmung zunehmend als einflussreiche Methode zur Aufnahme und zum Verständnis von Informationen anerkannt. (vgl. Few, 2006: 28). Few (2006) erörtert ihre Bedeutung und ihre Verbindung zu kognitiven Prozessen. Er betont, dass die Wahrnehmung nicht nur von den Augen abhängt, sondern auch das Gehirn mit einbezieht, wo der Wahrnehmungsprozess tatsächlich stattfindet.

Nicht alle Informationen, die man sieht, werden gespeichert oder bleiben in unserem Gedächtnis. Ware (2004) und Few (2006) unterscheiden zum Beispiel drei Formen des Gedächtnisses, nämlich das ikonische Gedächtnis auf Englisch „Iconic memory“, das Kurzzeitgedächtnis, oder „Short-term memory“ auch „working memory“ genannt und das Langzeitgedächtnis oder „Long-term memory“.

Das ikonische Gedächtnis arbeitet auf einer vorbewussten Ebene dennoch umfasst sie die so genannte „preattentive“ Verarbeitung, mit der visuelle Attribute schnell identifiziert und Elemente hervorgehoben werden, ohne dass ein bewusstes Denken erforderlich ist. Das Kurzzeitgedächtnis hingegen funktioniert auf der bewussten Ebene, hat aber nur eine begrenzte Kapazität und ist von temporärer Natur. Im Langzeitgedächtnis werden Informationen längerfristig gespeichert und können später abgerufen werden. (vgl. Few, 2006: 65ff.)

Die begrenzte Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses zur Verarbeitung visueller Informationen ist ein entscheidender Faktor bei der Gestaltung von visuellen Benutzeroberflächen, einschließlich (Geo-)Dashboards.

1967 beschrieb der Kartograph Jacques Bertin bereits sieben visuelle Variablen, nämlich Position, Größe, Form, Wert, Farbe, Orientierung und Textur (vgl. Roth, 2017), welche in den oben genannten Attributen enthalten sind. *"The visual variables describe the graphic dimensions across which a map or other visualization can be varied to encode information."* (Roth, 2017)

Yigitbasioglu und Velcu (2012:41) heben zusätzlich den grundlegenden Einfluss der Gestaltpsychologie auf die Gestaltung von Dashboards hervor, welche die Prinzipien der visuellen Wahrnehmung aufgreift.

Gestaltprinzipien sind eine Reihe von Gesetzen, die beschreiben, wie Menschen intuitiv *„ähnliche Elemente gruppieren, Muster erkennen und komplexe Bilder vereinfachen“*, und wie sie Wahrnehmen, wenn ein Objekt betrachtet wird. (The Interaction Design Foundation (IxDF), 2023)

Es gibt Prinzipien, die stärker wahrgenommen werden als andere. Few (2006:79) stellt fest, dass die „Enclosure“ oder Abgeschlossenheit stärker als "Verbindung", "Nähe" und "Ähnlichkeit" (Farbe, Größe und Form) ist und gleichzeitig "Verbindung" stärker als Nähe und Ähnlichkeit ist. (siehe Abbildung 12)

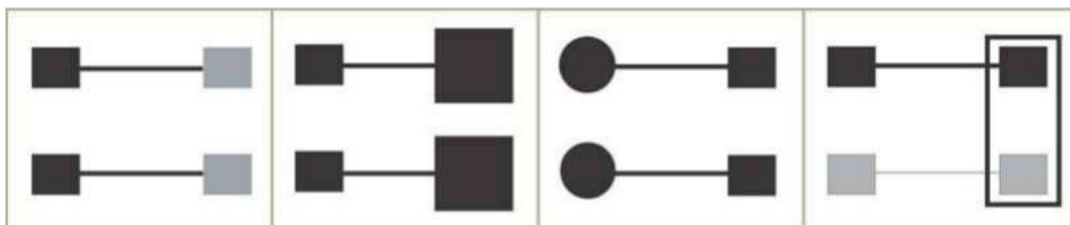


Abbildung 12. Dominanz der vorbewussten Attribute der visuellen Wahrnehmung
Quelle: (Few, 2006:79)

Sechs Prinzipien, die besonders relevant für Dashboards sind: Gesetz der Nähe oder „Proximity“, Gesetz der Geschlossenheit oder „Closure“, Gesetz der Ähnlichkeit oder „Similarity“, Gesetz der durchgehenden Linie oder „Continuity“, Gesetz der gemeinsamen Region oder „Enclosure“ und Gesetz der Verbindung oder „Connection“. (Moore & Fitz, 1993; Few, 2006; Yigitbasioglu & Velcu, 2012:46)

Die Gestaltpsychologie und ihre Gesetze sind jedoch nicht die einzigen Regeln zu diesem Thema. Sachse und Furtner (2010:91) nennen andere Ansätze der Wahrnehmungspsychologie, wie zum Beispiel: „Elementarismus/Assoziationslehre, Helmholtz’ Zeichentheorie, probabilistischer Funktionalismus, Gibsons ökologische Perspektive, computationale Ansätze“.

Bei der Erstellung von Geodashboards ist es wichtig zu verstehen, welche Rolle die Wahrnehmung und Kognitiven Aspekte spielen und wie sie funktionieren, um die Kommunikation von Informationen zu optimieren. (Geo-)Dashboards sind ein potenziell wertvolles Instrument, wenn sie in Übereinstimmung mit kognitiven Prozessen zur Optimierung der Entscheidungsfindung gebracht werden. Die Nutzer*innen können sich somit auf die wesentlichen und relevanten Informationen konzentrieren und fundiertere Entscheidungen treffen.

“Dashboards are expected to improve decision making by amplifying cognition and capitalizing on human perceptual capabilities.” (Yigitbasioglu & Velcu, 2012:41)

Eine weitere Variable, die zu berücksichtigen ist, sind die Daten- und Visualisierungskompetenzen der verschiedenen Nutzer*innen. (Geo-)Dashboards werden in der Regel für eine Vielzahl von Nutzer*innen mit unterschiedlichen Hintergründen und unterschiedlichen Kompetenzen konzipiert. Im folgenden Abschnitt wird die Definition von Kompetenz sowie ihre verschiedenen Ausprägungen erläutert.

2.1.4 Nutzer*innen Kompetenzen („Literacies“)

Der Begriff „Literacy“ bezieht sich in seiner grundlegendsten Form auf die Fähigkeit, lesen und schreiben zu können. Allerdings wurde er im Laufe der Zeit auf andere Wissensbereiche ausgeweitet und entsprechend angepasst, so dass er jetzt nicht nur auf die Lese- und Schreibkompetenz, sondern unter anderem auch auf neue Formen wie visuelle Kompetenz, Datenkompetenz, digitale Kompetenz oder die Informationskompetenz zutrifft. Vacher (2019) stellt fest, dass es mehr als 44 verschiedene „Literacies“ gibt.

Bei (Geo-)Dashboards ist die visuelle Kompetenz von entscheidender Bedeutung, da sie unterschiedliche Daten und Informationen auf eine visuelle Art und Weise darstellen. Der Fachausdruck „Visuelle Kompetenz“ ist äquivalent zu „Visual Literacy“ auf Englisch (vgl. Doelker, 2010) und wird im Rahmen dieser Masterarbeit weiterhin verwendet.

Messaris und Moriarty (2004: 481) beschreiben visuelle Kompetenz als *„[...] the viewer’s awareness of the conventions through which the meanings of visual images are created and understood.“* Müller (2008) beschreibt sie als ein Paradigma, das dazu dient, die Prozesse der visuellen Kommunikation in verschiedenen Kontexten zu verstehen. Dies umfasst vier Dimensionen, nämlich die Erstellung, Wahrnehmung, Interpretation und Rezeption von Visualisierungen. (vgl. Müller, 2008)

Visuelle Kompetenz ist die Fähigkeit, den Visualisierungsprozess, nämlich das Kodieren und Dekodieren (vgl. Yigitbasioglu und Velcu, 2012) von visuell dargestellten Daten, erfolgreich durchzuführen.

Grafiken sind ein wesentlicher Bestandteil der visuellen Informationsdarstellung. Karten zählen zu den Grafiken und werden in diesem Rahmen untersucht. Als „Graph literacy“ oder „Graphicacy“ wird die Fähigkeit bezeichnet, mit verschiedenen graphischen Formaten umzugehen. *„Graphicacy is the ability to understand and present information in the form of sketches, photographs, diagrams, maps, plans, charts, graphs and other non-textual, two-dimensional formats.“* (Aldrich & Sheppard, 2000; Galesic & Garcia-Retamero, 2011; Nayak et al., 2016)

Grafiken und quantitative Daten sind eng miteinander verbunden, da Grafiken in der Regel auf solchen Daten basieren. In (Geo-)Dashboards werden verschiedene Grafiken dargestellt, die quantitative Daten zugrunde liegen haben. Daher ist Datenkompetenz und „Numeracy-Kompetenz“, auch „Quantitative Literacy“ genannt, ebenfalls im Kontext von Geodaten-Dashboards von großer Bedeutung.

Curcio (1987) unterscheidet drei Ebenen des grafischen Verständnisses oder der „Graph Literacy“, wie von Galesic und Garcia-Retamero (2011) benannt nämlich „Read the data“, „read between data“ und „read beyond the data“

Galesic und Garcia-Retamero (2011) führten einen Test durch zur Messung der „Graph Literacy“. Sie stellen fest, dass eine Korrelation zwischen geringer „Numeracy“ und geringer „Graph Literacy“ besteht. Das bedeutet Nutzer mit geringer „Numeracy“ weisen auch eine geringere „Graph Literacy“ auf. Obwohl der Test im Gesundheitsbereich durchgeführt wurde, ist er auch auf andere Bereiche, wie zum Beispiel Geodashboards, anwendbar.

„It is known that a significant part of the general population has problems understanding numerically presented statistical data, particularly lower educated people [...]“(Galesic und Garcia-Retamero, 2011:445)

Börner et al. (2016) schließen daraus, dass es trotz noch bestehender Einschränkungen beim Verständnis von sogar einfachen Graphen bestimmte Typen von Graphen gibt, mit denen die Nutzer*innen vertrauter sind und die somit ihr Verständnis erleichtern.

Ein Pluspunkt von (Geo-)Dashboards besteht darin, dass die Daten auf unterschiedliche Weise visualisiert werden können, um die Verständlichkeit der bereitgestellten Informationen für verschiedene Nutzer zu verbessern, damit diese schnell reagieren können und so rascher und präziser Maßnahmen ergreifen.

Nach einer kurzen Zusammenfassung der grundlegenden Konzepte, die zum Verständnis des Umfelds von Geodashboards relevant sind, wird das Konzept eines (Geo-)Dashboards als solches erläutert.

2.2 Was sind Dashboards?

Der Begriff Dashboard taucht erstmals in den 1840er Jahren auf. Im Jahr 1847 wurde der Begriff im Oxford English Dictionary (OED) als: *„A board or leathern apron in the front of a vehicle, to prevent mud from being splashed by the heels of the horses upon the interior of the vehicle“* (Oxford University Press, 2023) definiert.

Im Laufe der Zeit erhielt der Begriff andere Bedeutungen, im Jahr 1904 wurde dieser auch vom Oxford English Dictionary (OED) zum Beispiel wie folgt definiert: *„In motor vehicles, the panel beneath the windscreen on which electrical instruments and controls are mounted. Also in aircraft“* (ebd.). In den 1990er Jahren wurden Dashboards im Bereich „computing“, so definiert: *„A screen giving a graphical summary of various types of information“* (ebd.)



Abbildung 13. Dashboard-Metriken
Quelle: Advance Metrics, 20218

Seitdem und insbesondere mit der Entwicklung der Technologien und dem Wandel zur Digitalisierung bezieht sich die Definition in den meisten Fällen auf digitale Dashboards. Definitionen von digitalen Dashboards, (von jetzt an Dashboards) sind schwer zu finden, jedoch lässt sich aus der Literatur zum Schluss kommen, dass Dashboards hilfreiche Werkzeuge sind, um eine große Menge an Daten schnell zu visualisieren und daraufhin Entscheidungen zu treffen. Wobei in der heutigen Zeit und mit dem Fortschreiten der Technologien, dienen Dashboards zu noch viel mehr als nur als reine Visualisierung.

Eine der in der Literatur am häufigsten verwendeten Definitionen für Dashboards ist diejenige von Few (2004:3; 2006:26; 2007:1): „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 “.



Abbildung 14. Beispiel eines Dashboards
Quelle: Tableau Public (Cedric Io, 2024)

Yigitbasioglu und Velcu (2012) erweitern die Definition um den Begriff Interaktivität. Kitchin et al. (2015) weisen neben der Interaktivität auch hervor, dass diese auch Echtzeitdaten wie Verkehrsfluss, Luftqualität und andere städtische Phänomene anzeigen können. Vazquez Ingelmo et al. (2019) verweisen auf 'tailored dashboard', um sich auf Dashboards zu beziehen, die ihr Aussehen und/oder ihre Funktionen je nach den Bedürfnissen der Benutzer*innen, der Daten oder des Kontexts ändern.

Jeder Autor fügt eine andere Eigenschaft zur Definition von Dashboard hinzu, abhängig vom Kontext, Nutzung, Nutzer*innen, wissenschaftlicher Bereich, etc., aber allgemein lässt sich sagen, dass Dashboards die folgenden wesentlichen Eigenschaften haben:

- Dashboards sind Werkzeuge, die visuelle Darstellungen gestatten,
- Sie erlauben die Sammlung von einer großen Menge an Daten und Informationen,
- Wenn nötig, können die Daten aus verschiedenen Quellen und verschiedenen Formaten stammen,
- Dashboards werden verwendet, um Informationen auf einen Blick zu vermitteln bzw. zu überwachen,
- Dashboards sollten dabei helfen, schneller Entscheidungen zu treffen,
- Sie sollten intuitiv und nutzerfreundlich sein,
- In der Regel werden alle Informationen auf einem einzigen Display angezeigt (jedoch haben verschiedene Autoren hier verschiedene Meinungen).

Einer der Vorzüge von Dashboards besteht darin, dass diese es ermöglichen, eine große Menge an Informationen aus verschiedenen Quellen schnell zu verstehen und Muster in den Daten zu erkennen. Sie sollten die Eigenschaft haben, komplexe Daten schnell und leicht verständlich zu machen und die Effizienz und Effektivität der Entscheidungsfindung zu verbessern, indem sie die kognitiven und wahrnehmungsbezogenen Fähigkeiten des Menschen nutzen, da sie schnell Informationen über wichtige Metriken und Indikatoren liefern.(vgl. Yigitbasioglu und Velcu, 2012)

Um die Lesbarkeit und Verständlichkeit der Daten zu verbessern, werden sie in den Dashboards in verschiedenen Formaten wie Grafiken, Diagrammen, Tabellen, Karten unter anderem als Visualisierungsmittel dargestellt. Welche visuelle Darstellung am besten geeignet ist, hängt von der Art der Daten, der Datenmenge, dem Zielpublikum, der Zielsetzung, den verfügbaren Tools usw. ab.

Bei dem Dashboard bzw. dem Geodashboards, geht es jedoch nicht nur darum, Daten visuell darzustellen, sondern auch darum, dem Nutzer die Mittel und die Grundlage zur Verfügung zu stellen, um aus diesen Daten Rückschlüsse und Korrelationen zu ziehen, was eng mit dem Prozess der visuellen Analyse verbunden ist.

In diesem Zusammenhang ist es von Bedeutung zu berücksichtigen, dass nicht alle Nutzer die gleichen Fähigkeiten und Bedürfnisse haben. Einige der vorherigen erwähnten Studien weisen darauf hin, dass eines der Probleme bei der Datenvisualisierung und implizit auch bei Dashboards die geringe Daten-, Visualisierungs- und Analysekompetenzen der Nutzer sind.

2.3 Was sind Geodashboards?

Unter dem Begriff Geodashboards versteht man ein Visualisierungswerkzeug, wie Dashboards, mit dem Unterschied, dass Geodashboards räumliche Daten enthalten, die in der Regel in Form einer kartographischen Komponente dargestellt werden.

Über die Hälfte der verfügbaren Daten enthalten eine räumliche Komponente (vgl. Hahmann & Burghardt, 2013) und oft auch eine zeitliche Komponente (Andrienko et al., 2017). Diese Daten stellen in der Regel zeit-räumlich variierende Phänomene dar (vgl. Bill et al., 2022:351) und stammen aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Auflösungen, Maßstäben und Qualitäten. (Andrienko et al., 2017)

Andrienko et al. (2017) gehen davon aus, dass in den enormen Datenmengen, die heutzutage gesammelt werden, versteckte Muster in Bezug auf Raum, Zeit und Semantik enthalten sind, welche analysiert werden sollen, um diese Muster explizit zu machen und auf diese Weise das Verständnis der genannten Phänomene zu verbessern.

Visualization of data is essential for human understanding of the subject under analysis, analytical reasoning about it, and generating new knowledge. Interactive visual interfaces support the human cognitive processes [...]. (Andrienko et al., 2017:16)

Kartenbasierte Dashboards dienen als eine intuitive Schnittstelle, welche Kommunikation multivariabler Informationen durch multimediale Darstellungsformen wie Texte, Diagramme, Bilder, Karten, Videos und integrierte Grafiken ermöglicht, damit die Nutzer die Daten sofort verstehen können. (vgl. Zuo et al., 2020) (siehe Abbildung 15)

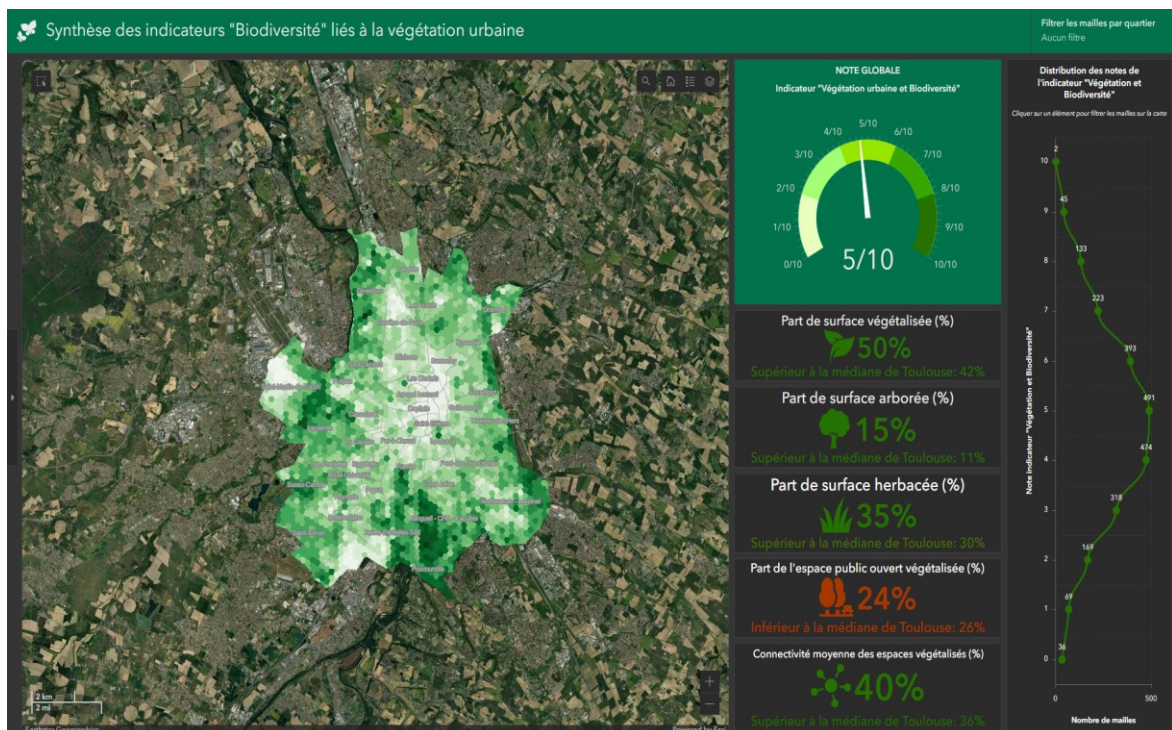


Abbildung 15. Beispiel eines Geodashboards
Quelle: GreenCityLab (2019) in ESRI Dashboards Gallery

Kartenbasierte Dashboards dienen jedoch nicht nur zur Präsentation von Datensätzen, sondern sie tragen auch dazu bei, den Prozess des visuellen Lernens und des analytischen Denkens in Bezug auf geografische Informationen zu fördern. vgl. (Zuo et al., 2020:1)

Wiederum gibt es, wie bei den Dashboards, viele Einsatzbereiche für Geodashboards, und je nach dem gibt es mehrere Definitionen, die unterschiedliche Eigenschaften umfassen.

Jing et al. (2019:2) beschreiben Geodashboards oder „Geospatial Dashboards“ als *„[...] a web-based interactive interface that is supported by a platform combining mapping, spatial analysis, and visualization with proven business intelligence tools.“*

Im Bereich der „Cities Dashboards“ und „Smart Cities“, Young et al. (2021:290) definieren ein City Dashboard als: *„[...] a web-based user interface that organizes and presents city-specific data to a broad constituency of users, such as analysts, policymakers, politicians, and civil society.“*

Kourtit und Nijkamp (2018:24) schlagen auch im Bereich der Smart-City-Dashboard-Systeme ein Geo-Dashboard als interaktives Werkzeug für strategische Entscheidungen vor, in das große, komplexe und dynamische Datensätze integriert werden können. vgl. Kourtit und Nijkamp (2018:24)

Im Bereich des Gesundheitswesens sind (Geo-)Dashboards eine wertvolle Unterstützung und werden häufig verwendet. Ein deutliches Beispiel hierfür ist der Fall der kürzlichen COVID 19-Pandemie, und für Pandemien und Epidemien im Allgemeinen, da eine Vielzahl von raum-zeitlichen Daten vorhanden ist. Diese Daten stammen aus verschiedenen Quellen und können in ein (Geo-)Dashboard für die Entscheidungsfindung integriert werden.

Ein herausragendes Geodashboard ist das COVID-19-Dashboard des Center for Systems Science and Engineering (CSSE) der Johns Hopkins University (JHU). Es hatte während der Pandemie ab dem Jahre 2019 eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung zuverlässiger und aktueller Informationen über die Verbreitung des COVID-19-Virus für die Öffentlichkeit und die Gesundheitsbehörden weltweit gespielt.

Das Dashboard stellte umfangreiche Informationen zur Verfügung, einschließlich globaler Fallzahlen, Todesfälle, Genesungen, aktive Fälle und weiterer Angaben. Zudem enthielt es detaillierte regionale Daten, die es ermöglichen, die Auswirkungen des Virus auf verschiedenen geographischen Dimensionen wie einzelne Länder, Staaten und Regionen zu verfolgen. Darüber hinaus enthält das Geodashboard Grafiken und Karten zur Veranschaulichung der zeitlichen Entwicklung der Pandemie. (siehe Abbildung 16)

Es ist ein Beispiel dafür, wie moderne Technologie und Datenvisualisierung genutzt werden können, um komplexe Informationen leicht zugänglich und verständlich zu machen.

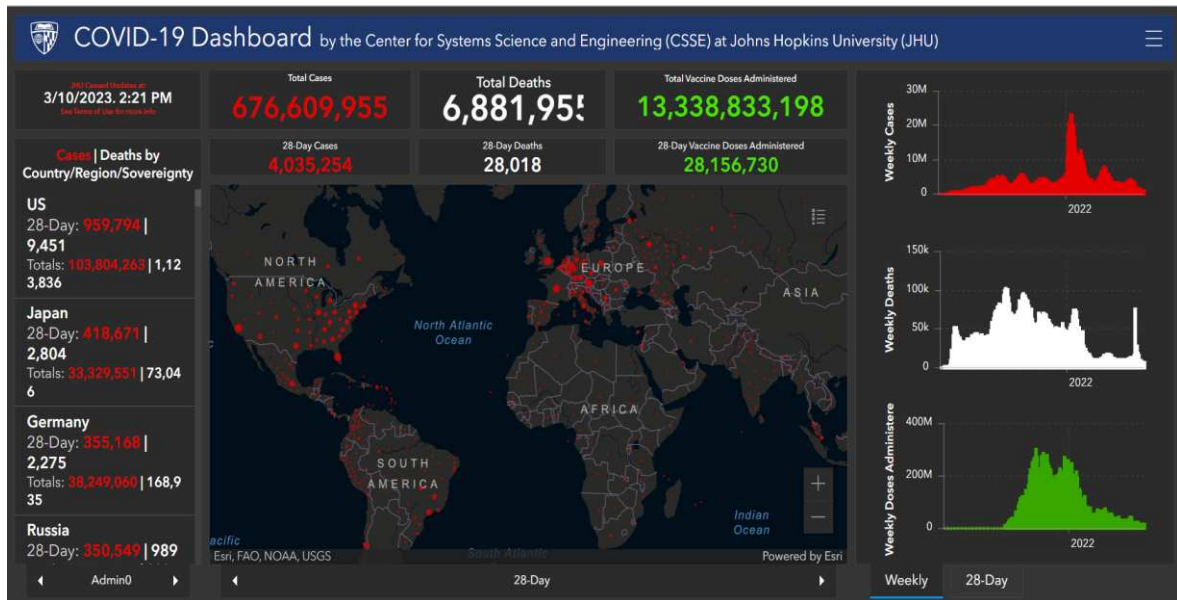


Abbildung 16. COVID-19 Dashboard (CSSE - JHU)
Quelle: (CSSE - JHU)

Geodashboards können in jedem Bereich erscheinen, in dem Geodaten enthalten sind. Andere übliche Bereiche, in denen sie verwendet werden können, sind „Business Intelligence“, „Marketing“, „Sales“, Finanzen unter anderem.

Kurz gefasst sind Geodashboards Werkzeuge, welche durch verschiedene visuelle Elemente den analytischen Prozess und die Erforschung von Schlussfolgerungen und Korrelationen auf der Grundlage eines räumlichen Ansatzes zur Entscheidungsfindung unterstützen. Je nach Einsatzgebiet weisen sie unterschiedliche Merkmale auf.

2.4 Die Geschichte von digitalen (Geo-)Dashboards

Vor der Entstehung moderner Dashboards gab es eine Reihe von technologischen Fortschritten und Wissenserwerb im Bereich der IT und der Digitalisierung, welche die Grundlage für die Entwicklung digitaler Dashboards in den 1990er Jahren bildeten.

Wie in Abschnitt 2.2 erwähnt, kam der Begriff Dashboard in den 1840er Jahren auf und bezeichnete den Teil einer Pferdekutsche oder jenen Teil eines Kraftfahrzeugs der sich auf die Schalttafel eines Fahrzeugs bezieht, auf der die Instrumente und Bedienelemente zu sehen sind. (vgl. Oxford University Press, 2023)

Dashboards in diesem Kontext bieten dem Fahrzeugfahrer eine intuitive Schnittstelle zur Steuerung und Überwachung relevanter Fahrzeuginformationen. Diese Dashboards ermöglichen dem Fahrzeugfahrer den Zugriff auf wichtige Informationen und Funktionen wie Tachometer, Benzinanzeige, Temperaturanzeige und so weiter.

Die Idee des Dashboards hat sich im Laufe der Jahre auf immer mehr Bereiche ausgeweitet, anfangs wurde es hauptsächlich in der Unternehmenswelt verwendet. Dashboards im digitalen Kontext wurden jedoch erst später als solche konzipiert.

Ab den 1960er Jahren begann man über Informationssysteme und ihre Komponenten zu sprechen. Einige dieser Systeme waren die Managementinformationssysteme auf Englisch „Management Information Systems (MIS)“, Entscheidungsunterstützungssystemen oder „Decision Support Systems (DSS)“ und Managemententscheidungssystemen oder „Management Decision Systems (MDS)“. (vgl. Shim et al., 2002)

Diese und die auf ihrer Grundlage entwickelten Systeme verfolgten das gleiche Ziel wie die heutigen digitalen Dashboards, so dass sie als ihre Vorläufer angesehen werden können.

Der Zweck dieser Systeme liegt darin, die Problemlösung und komplexe Entscheidungsfindung mit Hilfe von Computertechnologien zu unterstützen. (vgl. Shim et al., 2002:111)

Die grundlegenden Komponenten eines DSS bestehen beispielsweise aus einer Datenbank und Funktionen zu deren Management, Modellen und Modellierungsfunktionen und eine Benutzeroberfläche, bei der sich interaktive Abfragen, Berichte und Diagramme erstellen lassen. (vgl. Shim et al., 2002:111f.)

Ein Bereich der Informationssysteme, der sich zu dieser Zeit enorm ausweitete, waren die geografischen Informationssysteme (GIS). (vgl. Keenan, 1997:33)

“GIS is a system of hardware, software, and procedures that capture, store, edit, manipulate, manage, analyze, share, and display georeferenced data.” (Fu und Sun, 2011:4)

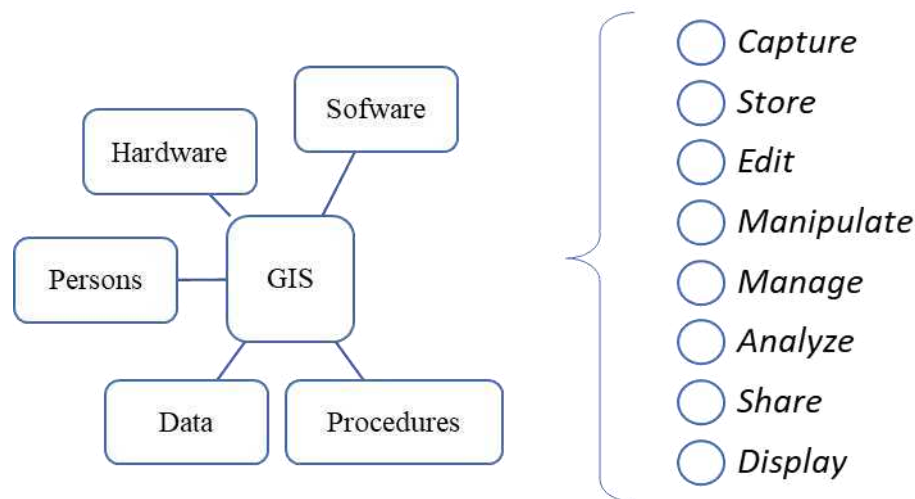


Abbildung 17. Geoinformationssysteme (GIS)
Quelle: In Anlehnung an Fu und Sun (2011:4)

„GIS has its origins in the fragmented use of computer technology in the 1960s for automated cartography and address matching software.“ (Keenan, 1997:34)

Im Vergleich zu den relativ kleinen Datenmengen, die mit typischen DSS-Anwendungen verbunden sind, sind die Mengen an geografischen Daten oft weitaus größer (Keenan, 2006:12), und die damalige Technologie war auf die Verarbeitung dieser Datenmengen nicht vorbereitet. Damit GIS vollständig entwickelt werden konnten, mussten zunächst

Verbesserungen in der Grafik- und Datenbanktechnik vorgenommen werden. (vgl. Keenan, 1997:34)

In den ersten Phasen dieser Systeme, war die Technologie noch beschränkt. Die Speicherkapazität und Geschwindigkeit der Computersysteme waren zum Beispiel begrenzt, was Auswirkungen unter anderem auf die grafische Darstellung hatte. Die hohen Preise für diese Technologien waren ebenfalls ein Hindernis für ihre breite Anwendung.

Als sich die Technologien verbesserten und die Computer leistungsfähiger wurden, war es möglich, DSS-Anwendungen unter Verwendung kartographischer Darstellungen oder räumlicher Informationen zu entwickeln. (vgl. Keenan, 2006: 12).

In den 1970er Jahren wurde zum Beispiel das „Geo-Data Analysis and Display System (GADS)“ von der Firma IBM als interaktives Grafiksystem entwickelt. Es war ein DSS, das geografische Daten enthielt und die Benutzer bei der Lösung von Problemen mit einer räumlichen Komponente unterstützte. (vgl. Grace, 1975: 31) Allerdings verfügte die verwendete Technologie über begrenzte Grafikfunktionen und eine unzureichende Verarbeitungsleistung, um das Potenzial räumlicher Anwendungen voll auszunutzen. (Keenan, 2006: 12).

Solchen Systemen, die eine räumliche Komponente enthalten, wurden als Räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme oder „Spatial Decision Support Systems (SDSS)“ in den 1980er Jahren bezeichnet (vgl. Keenan, 2006).

Die Diskussion über die Zusammenhänge zwischen räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (SDSS) und „geografischen Informationssystemen (GIS)“ und darüber, ob SDSS ein Teil von GIS sind oder umgekehrt, hat im Laufe der Jahre verschiedene Meinungen hervorgebracht (Keenan, 2006). Kennan (2006) behauptete, dass die Entwicklung von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (SDSS) auf der Grundlage der Technologie geographischer Informationssysteme (GIS) erfolgen sollte. Gleichzeitig betonte er, dass es verschiedene Perspektiven zu diesem Thema gibt.

Eine Meinung ist, dass der Begriff SDSS häufig verwendet wird, um DSS-Anwendungen zu beschreiben, die eine Vielzahl von Techniken aus verschiedenen Domänen weitgehend außerhalb des geographischen Bereichs integrieren können, aber eine einfache kartographische Komponente enthalten und wenig oder keine GIS-Technologie verwenden.(vgl. Keenan, 2006:12ff.)

GIS wird seinerseits implizit als SDSS betrachtet, da es ein Interface, eine Datenbank und einige räumliche Modellierungskomponenten (DSS-Anforderungen) enthalten und zur Unterstützung der Entscheidungsfindung eingesetzt werden kann. (vgl. Keenan, 2006: 14 ff.)

Eine andere Perspektive zu diesem Thema ist, dass die SDSS das Ergebnis der Integration von DSS (besonders der Modell-Teil) und GIS (besonders die graphischen Darstellungen) sind. (vgl. Sharma und Sharma, 2015)

Ein wichtiger Unterschied zwischen dem GIS und der SDSS liegt in ihren Benutzer*innen. Die Nutzer von Geographischen Informationssystemen (GIS) benötigen eine intensive Ausbildung, um die erforderlichen räumlichen Techniken zur Bearbeitung der großen

Menge an räumlichen Daten, mit denen diese Systeme arbeiten, effektiv nutzen zu können. (vgl. Keenan, 2006: 14)

Die Nutzer*innen von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (SDSS) hingegen benötigen kein detailliertes Verständnis des gesamten Spektrums räumlicher Techniken der GIS-Software, sondern nur das für ihre spezifischen Bedürfnisse erforderliche Verständnis. (vgl. ebd.: 15ff.)

In der folgenden Abbildung sind die Interaktionen zwischen den Komponenten eines "Spatial Decision Support System" (SDSS) (Sharma & Sharma, 2015) (siehe Abbildung 18).

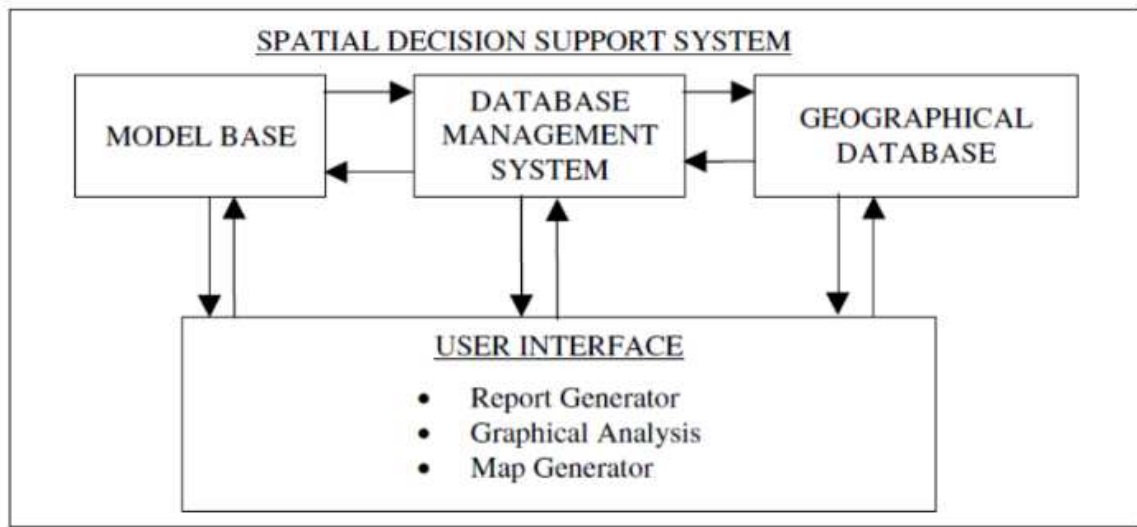


Abbildung 18. Interaktion von SDSS-Komponenten
Quelle: (Sharma & Sharma, 2015:35)

In den 1980er Jahren entstand auch der Begriff Führungsinformationssystem oder „Executive Information Systems (EIS)“, welche interaktive Systeme waren, die zumeist für die Unternehmensebene geeignet waren. (vgl. Shim et al., 2002:113f.)

Diese Systeme haben sich ständig weiterentwickelt, und die Technologie ist immer fortschrittlicher geworden. Few (2006) deutet an, dass der Begriff Dashboard lediglich eine neue Bezeichnung für Executive Information Systems (EIS) ist, welches dazu gedacht war, wichtige Finanzkennzahlen über eine einfache Schnittstelle anzuzeigen, die „sogar eine Führungskraft verstehen kann“. (Few, 2006: 14)

Er betont jedoch, dass die Idee zwar visionär, aber zum damaligen Zeitpunkt nicht realisierbar war, da die erforderlichen Informationen unvollständig, unzuverlässig und in zu vielen verschiedenen Quellen verteilt waren. (vgl. ebd.)

In den 1990er Jahren gab es große Fortschritte bei den Informationssystemen und der Entwicklung von Dashboards durch das Entstehen von Systemen wie das „Data Warehousing“, das „Online Analytical Processing (OLAP)“ und die „Business Intelligence“. (vgl. Few, 2006: 14),

„Data Warehousing“ bezieht sich auf einen Datenspeicher, der Daten aus verschiedenen Datenquellen sammelt, verdichtet und dauerhaft für Analysezwecke speichert. Er wird verwendet, um Informationen auf eine logische Art und Weise zu verknüpfen und sie

transparent und übersichtlich darzustellen (vgl. Academy FH Technikum Wien, 2023). Die gleichzeitigen Verbesserungen in der Datenbanktechnologie erleichterten die Integration und Funktionsweise dieser Systeme, indem die Präsentation der Ergebnisse und die interaktive Analyse der Datensätze sowie die Geschwindigkeit der Abfrageverarbeitung optimiert wurden. (vgl. Shim et al., 2002)

„Online Analytical Processing (OLAP)“ ist seinerseits eine Software, mit der große Datenmengen aus einem zentralen Datenspeicher wie zum Beispiel einem Data Warehouse mit hoher Geschwindigkeit analysiert werden können. (vgl. IBM Corporation 1994, 2023).

Beim Data Mining geht es darum, versteckte Muster und Korrelationen in einer umfangreichen Datenmenge zu finden. Data-Mining-Tools setzen eine breite Palette von Techniken ein (vgl. Power, 2000:256) „ [...] *including case-based reasoning, data visualization, fuzzy query and analysis, and neural networks*“ (Power, 2000:256).

Die Integration dieser Komponenten erleichterte die Verarbeitung großer Informationsmengen und entsprach damit den Anforderungen des Informationszeitalters (vgl. Few, 2006: 14). Dank der Entwicklung und Evolution der oben genannten Systeme, die als Vorläufer der (Geo-)Dashboards betrachtet werden können, konnten die letzteren entstehen. Man kann also sagen, dass digitale Dashboards als solche in den 1990er Jahren entstanden sind.

Die Entwicklung des World Wide Web in den späten 1980er Jahren, brachte eine Reihe wichtiger Fortschritte in der digitalen Welt mit sich.

Im Zusammenhang mit (Geo-)Dashboards war dies auch ein Durchbruch. Menschen aus der ganzen Welt konnten nun auf interaktive Schnittstellen und Werkzeuge, einschließlich Geodashboards, Zugriff nehmen. (vgl. Kraak, 2004) Dies hat zur Verbreitung von Geo-Dashboards beigetragen.

Informations-Dashboards wurden erstmals in den 1990er Jahren populär, als Technologien und bessere Methoden für die „data warehousing“ entwickelt wurden. (Fischer & Hutchinson, 2018:4) Auch Geodaten-Dashboards haben seit den späten 1990er Jahren an Relevanz gewonnen. Nicht nur für Nutzer*innen, sondern auch bei akademischen Forscher*innen (vgl. Jing et al., 2019: 2)

Das Aufkommen von „Key Performance Indicators (KPIs)“ in den 2000er Jahren, welche die Effizienz bewerten, mit der die Unternehmensziele erreicht werden, war ebenfalls ein wichtiges Ereignis in der Weiterverbreitung und Popularisierung der (Geo-)Dashboards. (vgl. ebd.) Obwohl sich Dashboards erst auf Unternehmensebene verbreiten haben, haben diese in vielen Bereichen an Relevanz genommen.

Jing et al. (2019) behaupten, dass die Entwicklung von (Geo-)Dashboards in drei Phasen unterteilt werden kann: Die erste Phase entspricht der Entwicklung von digitalen Dashboards, die zweite der Entwicklung von (Geo-)Dashboards mit kartographischen Komponenten und die letzte Phase bezieht sich auf moderne Geodaten-Dashboards mit Geodaten-Analysefunktionen. Die dritte Phase ist auf zwei Veränderungen zurückzuführen: die Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien, die in der Lage sind,

komplexere Daten in Echtzeit zu verarbeiten, und die Einführung eines neuen, auf Daten und Indikatoren basierenden Managementsystems. (Jing et al., 2019: 2 f.)

Etwa 2010 wurde mit der Weiterentwicklung der integrierten Geoanalysefunktionen begonnen. Software wie OpenGeo Suite (2011) Operations Dashboard for ArcGIS (2018) der Firma Environment System Research Institution Inc. (ESRI), ermöglichen die Weiterentwicklung von (Geo-)Dashboards (vgl. Jing et al., 2019: 2 f.) und die Integration solcher Geoanalysefunktionen.

Im Laufe der Zeit sind digitale (Geo-)Dashboards zu einem festen Bestandteil vieler Branchen und Sektoren geworden und haben sich weiterentwickelt, um noch mehr fortschrittliche Funktionen zu bieten.

Heutzutage existieren viele verschiedene Software-Lösungen, welche die flexible Erstellung von (Geo-)Dashboards mit einer großen Anzahl von Funktionalitäten und Features ermöglichen. Die Technologien zur Erstellung von Geo-Dashboards werden in Abschnitt 2.7 näher erläutert.

In der folgenden Abbildung (siehe Abbildung 19) ist eine Zusammenfassung der wichtigen Ereignisse für die Entstehung von (Geo-)Dashboards.

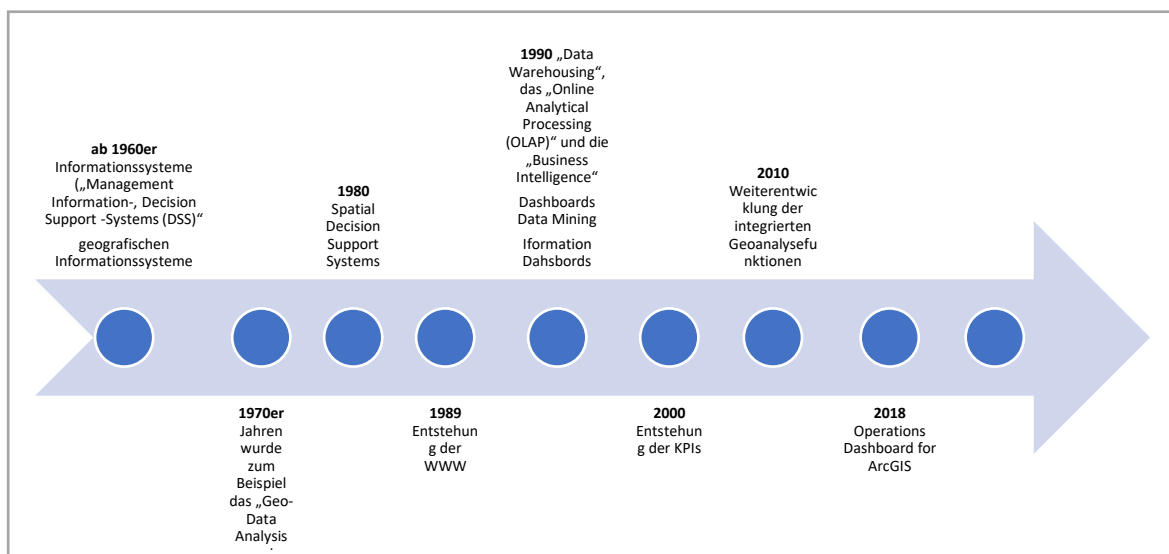


Abbildung 19. Chronologie der (Geo-)Dashboards
Quelle: In Anlehnung an (Jing et al., 2019: 2 f.) und Power 2002

2.5 Komponenten, Arten und Eigenschaften von (Geo-)Dashboards

Im vorliegenden Unterkapitel werden verschiedene Komponenten, Typen und Eigenschaften von digitale (Geo-)Dashboards beleuchtet.

Jing et al. (2019:3) stellen zwei wichtige Komponenten von Geodashboards vor, nämlich Indikatoren, mit denen die Performance verschiedener Phänomene gemessen wird, und Analysemodelle. Diese Komponenten sind Teil einer dreistufigen Geodashboard-Architektur, welche Daten, Modelle und Präsentation umfasst (siehe Abbildung 20)

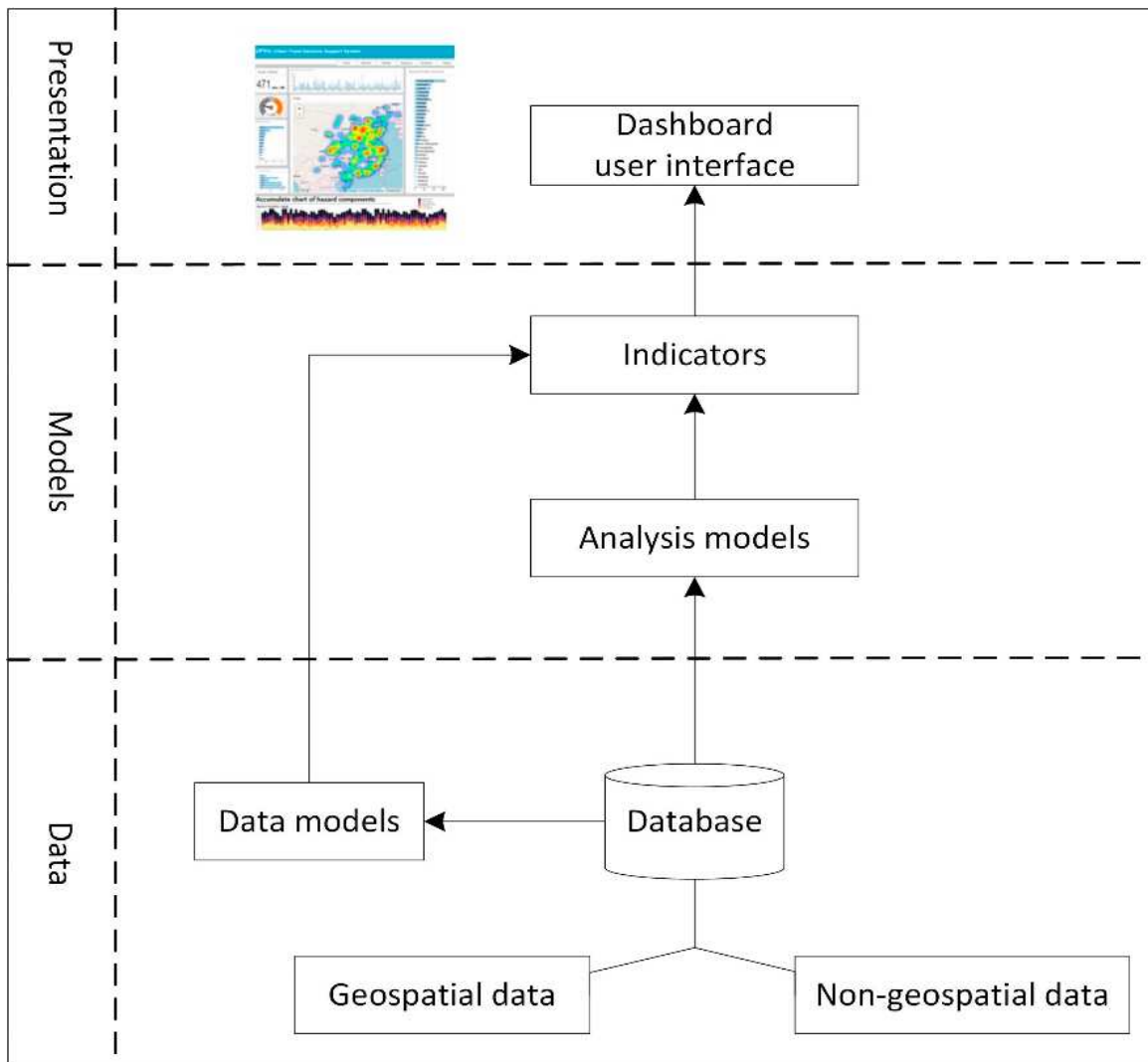


Abbildung 20. Dashboard-Architektur nach Jing et al. (2019)
Quelle: (Jing et al., 2019)

Die Daten, sowohl raumbezogene als auch nicht raumbezogene, können aus verschiedenen Quellen wie relationalen Datenbanken, APIs, lokalen Dateien usw. stammen. Diese Daten werden verarbeitet und in den Modellen benutzt.

Dieser Prozess erfolgt typischerweise im Backend, welches im Hintergrund arbeitet und für die Datenverarbeitung, Logik und Kommunikation mit Datenbanken und anderen externen Diensten zuständig ist. Das Backend setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, darunter Server, Anwendungslogik, Datenbanken, APIs und Sicherheitsmechanismen (vgl. Assecor GmbH, 2024) und bildet das Fundament für die Darstellung und Interaktion der Daten im Frontend.

Das Frontend stellt die sichtbare und interaktive Schnittstelle dar, welche die Benutzer bei der Nutzung einer Anwendung verwenden. (vgl. Assecor GmbH, 2024) Insbesondere in (Geo-)Dashboards gehören zum Frontend das Design, Visualisierungselemente wie Karten, Diagramme, Tabellen usw. sowie interaktive Steuerelemente wie Filter, Schaltflächen, Dropdown-Menüs, etc. Durch diese Schnittstelle haben die Nutzer die Möglichkeit, mit

diesen Visualisierungen und Steuerelementen zu interagieren und die Daten dynamisch zu manipulieren.

(Geo-)Dashboards können in einer Vielzahl von Kontexten und Branchen genutzt werden und je nach Zweck und Ziel unterschiedlich klassifiziert werden. Few (2006), der eine eingehende Studie über Dashboards durchführte, schlug deren Klassifizierung nach verschiedenen Parametern vor. In der Literatur am häufigsten verwendete Klassifizierung ist Few's Klassifizierung nach ihrer Funktion in: analytisch operativ und strategisch.

Autoren wie Pappas & Whitman, (2011) und Dobraja et al. (2018) adaptieren Few's Kategorisierung im Kontext von Dashboards bzw. Geodashboards.

Jing et al. (2019) übernehmen ebenfalls Few's Kategorisierung von Dashboards nach ihrer Rolle, nämlich operativ, analytisch und strategisch, und passen sie an den Kontext von städtischen Dashboards mit Geodaten an. (siehe Abbildung 21)

Sie heben hervor, dass analytische Dashboards in diesem Bereich am weitesten verbreitet sind. Diese ermöglichen nicht nur einen Einblick in die Performance, sondern auch in die Muster und deren Begründung. Strategische Dashboards werden aufgrund des Mangels an präzisen Vorhersagemodellen weniger genutzt, können jedoch die Entscheidungsfindung und Vorhersage unterstützen. Operative Dashboards werden häufig zur Darstellung von Leistungsindikatoren verwendet, insbesondere in den Bereichen Umwelt und Wirtschaft. (vgl. Jing et al., 2019)

Analytische Dashboards	Einblicke in die Performance und die Entstehung von Mustern und die Gründe für diese Muster.
	Anwendungsbeispiele: Analyse städtischer Überschwemmungen oder Verkehrs.
Operative Dashboards	Entscheidungsfindung und Vorhersage
	Anwendungsbeispiele: Urban Governing oder Stadtmanagement
Strategische Dashboards	Performance bestimmter Maßnahmen.
	Anwendungsbeispiele: Umwelt- oder Wirtschaftsbereichen.

*Abbildung 21. Arten von CityDashboards nach (Jing et al., 2019) basierend auf Few's (2006) Klassifizierung
Quelle: in Anlehnung an (Jing et al., 2019)*

ESRI (2023) präsentiert und ermöglicht die Erstellung von vier verschiedenen Kategorisierungen von Dashboards, nämlich strategische, taktische, operationelle und informative Dashboards und bietet zu deren Erstellung vorgefertigte Vorlagen für verschiedene Benutzerrollen.



Abbildung 22. Arten von (Geo-)Dashboards nach ESRI
Quelle: In Anlehnung an ESRI (2023)

In Bezug auf die Kategorisierung von Dashboards präsentieren Few (2006) und ESRI (2023) ähnliche Ansätze, jedoch zeigen sich gewisse Unterschiede in der Einteilung und Terminologie. Few (2006) differenziert nicht ausdrücklich zwischen informativen und taktischen Dashboards. Der von ihm verwendete Begriff „analytisch“ lässt sich sowohl in die eine als auch in die andere Kategorie einordnen.

(Geo-)Dashboards können jedoch auch nach anderen Eigenschaften klassifiziert werden: Nach der Art der enthaltenen Daten, dem Bereich, in dem sie verwendet werden, der Art der Messungen, dem Umfang der Daten, der Häufigkeit der Aktualisierung, ihrer Interaktivität oder Nicht-Interaktivität und auch nach ihrem hauptsächlichen Inhalt (Grafik, Text oder eine Kombination aus beidem) und letztlich nach der Möglichkeit, sie mit anderen Daten zu verbinden oder nicht (vgl. Few, 2006).

Zahlreiche Autor*innen haben sich mit der Gestaltung von (Geo-)Dashboards auseinandergesetzt und verschiedene Merkmale und Eigenschaften für die Erstellung effektiver Geodashboards hervorgehoben.

Yigitbasioglu und Velcu (2012) unterscheiden beispielweise zwischen „functional features“ und „visual features“. Die ersten beschreiben, was das Dashboard leisten kann, die zweiten Merkmale beschreiben das Layout und Design des Dashboards. Malik (2005) schlägt einen ähnlichen Ansatz vor, differenziert jedoch zwischen Layout, Design (visual features) und

Navigation (functional features). Sarikaya et al. (2019:683ff.) kategorisieren neben visuellen und interaktiven Merkmalen die Eigenschaften von Dashboards in Zweck, Zielgruppe, Merkmale und Datensemantik.

Häägg et al. (2020) und Häägg (2020) führen eine komparative Analyse von Dashboards durch. Um die Nützlichkeit von kartenbasierten Dashboards zu evaluieren, gruppieren sie die verschiedenen Merkmale von Dashboards in vier Kategorien: (1) visuelle Variablen (2) Interaktionsoperatoren (3) Kommunikationsfunktionalitäten und (4) Usability-Aussagen. Dabei stellen sie fest, dass manche Merkmale häufiger verwendet werden. Farbe („Hue“ und „Lightness“) wird am häufigsten für visuelle Variablen, „Import“, „Overlay“, „Pan“ und „Zoom“ für Interaktionskomponenten und Szenarien für Kommunikationsfunktionalitäten verwendet. (vgl. Häägg et al., 2020) (siehe Abbildung 22)

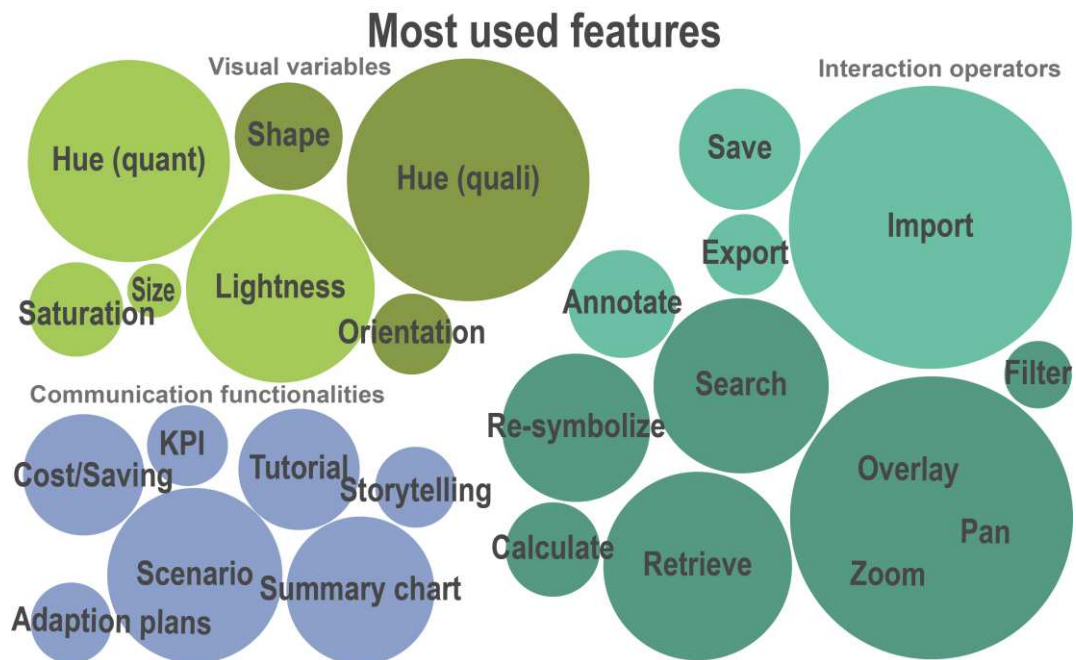
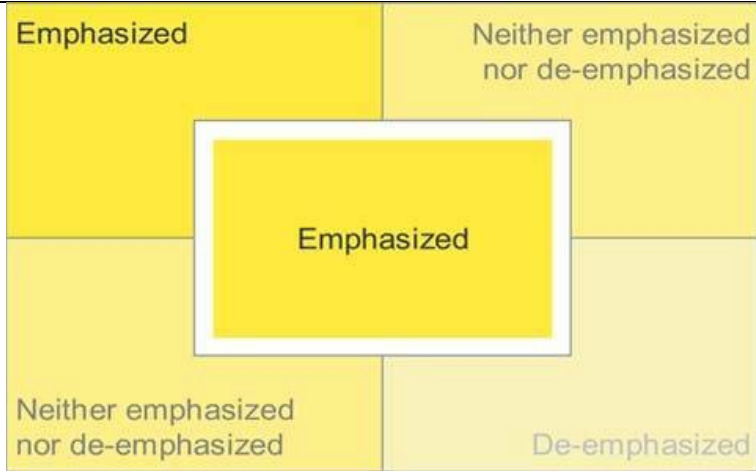


Abbildung 23. Am häufigsten verwendete Merkmale in Kartenbasierten Dashboards nach Häägg et al. (2020) und Häägg (2020)

Quelle: (Häägg et al., 2020; Häägg, 2020)

In der folgenden Tabelle sind zusätzliche Erkenntnisse zu den Gestaltungsmerkmalen und Komponenten von effektiven (Geo-)Dashboards nach Ansicht von Autoren (nachfolgend erwähnt) aus verschiedenen Domänen systematisch zusammengefasst. Die Merkmale sind in fünf Kategorien unterteilt, nämlich: Kommunikation und Datenauswahl, Dashboard-Layout, visuelle Präsentation/Design, Visualisierungen und Interaktivität und funktionale Elemente. (siehe Tabelle 1)

Komponenten	Beschreibung
Kommunikation und Datenauswahl	<ul style="list-style-type: none"> • Das Verständnis der Zielgruppe des (Geo-)Dashboards ist von großer Bedeutung (Häägg et al., 2020) einschließlich ihres Kenntnisstands (vgl. Häägg, 2020:4, Yigitbasioglu & Velcu, 2012) ihrer Ziele (vgl. Pappas & Whitman, 2011:253), ihrer Domäne (Sarikaya et al., 2019), ihrer Aufgaben und Persönlichkeit (Yigitbasioglu & Velcu, 2012) sowie des Kontexts (vgl. ESRI, o.J.) und des Geräts, welches zur Interaktion mit dem (Geo-)Dashboard verwendet wird. Dies hilft bei der Entscheidung, welche Daten relevant sind und welche Art von Dashboard verwendet werden soll. (vgl. Pappas & Whitman, 2011:253) • Abruf von detaillierten Informationen bei Bedarf (vgl. Kremser, 2020; Zuo et al., 2020), zur Vermeidung von Informationsüberlastung. • Durch das Anwenden von Filtern, wie beispielsweise von Layern in Karten, können relevante Informationen hervorgehoben werden (vgl. ESRI, o.J.) und der Fokus auf die Daten gelegt werden. (vgl. Microsoft, 2023) • Gołębiowska et al. (2023) führen eine Untersuchung zu Erklärungselementen durch und kommen zu dem Schluss, dass Benutzer mehrere Legenden in der Nähe des Erklärungselements bevorzugen, anstatt eine einzige feste Legende im Dashboard zu haben. • Korycka-Skorupa & Gołębiowska (2020) untersuchen die Einführung von Zahlen auf Karten und stellen einen positiven, nicht überlastenden Effekt fest, selbst wenn die Informationen redundant sind.
Dashboard-Layout	<ul style="list-style-type: none"> • „Single Screen“ (vgl. Few, 2004, 2006; Pappas & Whitman, 2011; Horita et al., 2014) mit „Zoom-out“ (vgl. Yigitbasioglu und Velcu, 2012; Jing et al., 2019) oder „Drilldown-Stil“ (vgl. Jing et al., 2019) • Strategische Positionierung wichtiger Informationen. Die wichtigsten Informationen sollten in der linken oberen Ecke platziert werden, da die meisten Menschen von links nach rechts lesen. Wenn jedoch ein Element in der Mitte platziert wird, erhält es die sofortige Aufmerksamkeit des Nutzers und sollte daher ebenfalls wichtig sein. (vgl. Few, 2006; Pappas & Whitman, 2011)

Komponenten	Beschreibung
	 <p>Abbildung 24. Hervorhebung der Regionen eines Dashboards Quelle: (Few, 2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Few (2006:97) weist darauf hin, dass die Platzierung von Informationen in der Mitte die Informationen nur dann hervorhebt, wenn sie visuell hervorgehoben werden, oft durch die Verwendung von Weißraum. (siehe Abbildung 24) • Die optimale Anzahl von Panels auf dem Dashboard laut Malik (2005) ist vier. Bei Bedarf können auch sechs Panels verwendet werden, aber diese Zahl sollte nicht überschritten werden.(vgl. Malik, 2005) • Nutzung des Raums. Es ist notwendig, die Größe/Auflösung des Displays zu berücksichtigen, (Malik, 2005; Kremser, 2020) sowie die der einzelnen Visualisierungen und Panels. (vgl. Pappas & Whitman, 2011) <i>“Symmetry and proportions of the windows are also important to maintain an effective visual presentation.”</i> (vgl. Malik, 2005:51) • Anwendung des Gestaltprinzips. (Few, 2006; Pappas & Whitman, 2011; Yigitbasioglu & Velcu, 2012; Jing et al., 2019) (erwähnt im Kapitel 2) um Beispiel <i>“[...] Visuals that are related to each other should be close to each other, with white space around the group”.</i> (vgl. Pappas & Whitman, 2011:256) • Jedes Panel des Dashboards sollte eine eindeutige Funktion haben (vgl. Zhang et al., 2021:15) • Nutzung der Kompaktheit für ein besseres und schnelleres Verständnis und der Modularität des Inhalts für mehr Klarheit. (vgl. Zhang et al., 2021:15)

Komponenten	Beschreibung
visuelle Darstellung /Design	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung der verschiedenen visuellen Variablen wie Farbe, Form, Orientierung, Abstand, um die visuelle Wahrnehmung zu verbessern und wichtige Informationen hervorzuheben. (vgl. Few, 2006; Fredriksson Häagg et al., 2020; Häagg, 2020; Ware, 2004) • Farbe wird in der Literatur häufig als wirksames Medium zur Vermittlung von Informationen erwähnt. (vgl. Few, 2006; Fredriksson Häagg et al., 2020; Häagg, 2020; Malik, 2005; Pappas & Whitman, 2011; Yigitbasioglu & Velcu, 2012) <p>Allerdings sollte Farbe mit Vorsicht eingesetzt werden, da ein übermäßiger Gebrauch oder Eigenschaften wie eine übermäßige Helligkeit den Benutzer ablenken können. Helle und gesättigte Farben sollten für die Hervorhebung wichtiger Daten reserviert werden. Neutrale Farben eignen sich für den Hintergrund (Few, 2006) und Hintergrundbilder sollten vermieden werden (Pappas & Whitman, 2011).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine einheitliche Farbe ermöglicht auch die Gruppierung von Elementen und die Hervorhebung von Informationen. (vgl. Few, 2006) • Für Dashboards in Umgebungen mit wenig Licht eignen sich dunklere Basiskarten und Symbole besser, um visuelle Anstrengung zu vermeiden. In helleren Umgebungen kann hingegen die Verwendung hellerer Farben erwogen werden. (vgl. ESRI, o.J.) • Schriftart und -stil (Größe, Familie, Farbe) (vgl. Few, 2006; Pappas & Whitman, 2011; Zhang et al., 2021) hat ebenfalls einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Datenvisualisierung in Dashboards. Der Text sollte immer gut lesbar sein und entsprechend der Bedeutung des Textes angezeigt werden. (vgl. Zhang et al., 2021) • Inhaltliche Separatoren (vgl. Malik, 2005), wie beispielsweise die effektive Nutzung von Abständen, um Datengruppen visuell zu trennen, ohne die Aufmerksamkeit des Betrachters unnötig abzulenken. (vgl. Few, 2006) • Elemente wie Beschriftungen, Lesezeichen, Pop-ups, sichtbare Bereiche und Beschriftungen (vgl. ESRI, o.J.) tragen zur Lesbarkeit der Karte und zum Verständnis der darin enthaltenen Informationen bei.
Visualisierungen	<ul style="list-style-type: none"> • Organisation (vgl. Jing et al., 2019) und die Auswahl geeigneter Visualisierungstypen basieren auf den dargestellten Informationen. Für die Darstellung von relativen Anteilen eignen sich Kreisdiagramme, während Liniendiagramme zur Darstellung von Trends,

Komponenten	Beschreibung
	<p>Balkendiagramme (vgl. Malik, 2005) oder „bullet bars“ zum Vergleich und zur Darstellung von Mustern zum Beispiel ein „Scatter Plot“. (vgl. Pappas & Whitman, 2011) Sogar die Visualisierungen können kombiniert werden, wenn dies sinnvoll und notwendig ist, z. B. in einer einzigen Tabelle oder Grafik. (vgl. Few, 2006).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Runde Visualisierungen wie Kreisdiagramme, „speedometers“ oder „dials“ sind aufgrund ihres Platzbedarfs weniger effizient, können aber geeignet sein, um kritische Maßnahmen hervorzuheben, die sofortiges Handeln erfordern. Außerdem sind hohe Werte in Balkendiagrammen leichter zu vergleichen als Winkel in Kreisdiagrammen (vgl. Pappas & Whitman, 2011). Farbcodierte Ampeln hingegen sind für einen kleinen Bereich geeignet (vgl. Malik, 2005). • Um die räumliche Verteilung zu visualisieren, können verschiedene Darstellungen verwendet werden. Punktkarten werden beispielsweise verwendet, um die räumliche Verteilung von Daten darzustellen. Heat Maps zeigen das Ausmaß eines Phänomens durch Farbvariationen, welche anzeigen, wie sich das Phänomen im Raum verändert. Flow Maps, welche eine Kombination aus Karte und Flow Chart sind, verwenden Linien, um die Bewegung von Objekten zwischen verschiedenen Orten darzustellen. Diese Karten werden in der Regel zusammen mit verschiedenen Diagrammen verwendet (Zhang et al., 2021). Clusterkarten und andere Methoden wie der „Space-Time-Cube“ werden ebenfalls zur Darstellung räumlicher Daten genutzt. Letzterer ist „[...] a tool used to aggregate spatiotemporal data for visual analysis to find feature events.“ (Jing et al., 2019)
Interaktivität und funktionale Elemente	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“Interactions can help to show the user all the information they need, even in a limited amount of space”.</i> (Pappas & Whitman, 2011:256) • Drilling down auf die Details (vgl. Few, 2006; Horita et al., 2014; Malik, 2005; Pappas & Whitman, 2011; Yigitbasioglu & Velcu, 2012) insbesondere bei strategischen und analytischen Dashboards (vgl. Pappas & Whitman, 2011). • Möglichkeit zum Auf- und Zuklappen von Panels, Tooltips beim Hovering, Brushing (Multiple Linked Views) (vgl. Jing et al., 2019) und interaktive Hervorhebungen zur Fokussierung der Nutzeraufmerksamkeit (vgl. Pappas & Whitman, 2011). • Synchronisierte Abfragen zur gleichzeitigen Visualisierung für einfache Interaktion und Vergleiche (vgl. Kitchin et al., 2015).

Komponenten	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> • Export von Visualisierungen zur Verwendung in Dokumenten, zum Teilen in sozialen Medien oder zum Importieren von Daten in andere Analysetools (vgl. Kitchin et al., 2015). • Fredriksson Häagg et al. (2020) und Häagg (2020) unterteilen die Interaktivitätsoperatoren in zwei Gruppen, einerseits die "Work operators", zu denen gehören „[...] pan, zoom, filter, search, retrieve, calculate, re-express, arrange, sequence, re-symbolize, overlay, re-project“. Andererseits die "Enabling operators", zu denen „[...] import, export, save, edit and annotate [...]“ gehören.

*Tabelle 1. Gestaltungsmerkmale und Komponenten von (Geo-)Dashboards
Quelle: Eigene Darstellung nach verschiedenen Autoren*

2.6 Karten als Bestandteil von Geodashboards

2.6.1 Karten in der „World Wide Web“

Karten sind seit Jahrhunderten in der Gesellschaft präsent und spielen eine grundlegende Rolle für die Darstellung und das Verständnis der Welt um uns herum. Im Zuge der technologischen und wissenschaftlichen Entwicklung des Menschen haben sich Karten parallel dazu weiterentwickelt.

Die digitale Revolution hat einen entscheidenden Schritt in der Evolution von Karten markiert. Durch die Umwandlung von analogen auf digitale Karten wurden eine Vielzahl von Möglichkeiten eröffnet, beispielsweise die Verknüpfung von Geodaten mit anderen Datentypen, die Integration von Daten aus verschiedenen Quellen sowie die Aktualisierung und Visualisierung dieser Daten in Echtzeit.

Ein weiterer Vorteil der digitalen Karten sind die Interaktionsmöglichkeiten, die sie bieten. Nutzer*innen können nun mit den Daten interagieren, indem Sie bestimmte Informationen auswählen, abfragen, filtern, zoomen, scrollen, überlagern, etc. (vgl. Shneiderman, 1996; Kitchin und Mcardle, 2017), um spezifische relevante Informationen zu visualisieren. Dadurch können Benutzer*innen auf detaillierte und genaue Informationen zugreifen und gezielte Entscheidungen treffen. Darüber hinaus reduziert die Interaktivität die Belastung des menschlichen kognitiven Informationsprozesses im Vergleich zu statischen Produkten wie gedruckten Karten. (vgl. Keenan, 2006:13)

Weitere Fortschritte in der Technologie, wie zum Beispiel in der Fernerkundung, dem „Global Positioning System (GPS)“ und der „Augmented und Virtual Reality (AR/VR)“, haben die Erstellung, Darstellung und Analyse von Karten verändert. Es werden nun deutlich präzisere und detailliertere Karten erstellt. Auch die Geschwindigkeit der Kartenerstellung und Verbreitung hat sich durch den Einsatz modernster Technologien deutlich erhöht. (vgl. Çöltekin et al., 2020)

Das Aufkommen des Internets, insbesondere des World Wide Web, gefolgt vom sogenannten "Web 2.0" und "Web 3.0", hat die Art und Weise, wie Menschen mit Karten arbeiten, revolutioniert und die Nutzung von Geographischen Informationssystemen (GIS) in der digitalen Welt ermöglicht.

Da die Entwicklung des Webs die Erstellung und Verbreitung von interaktiven (Geo-) Dashboards erleichtert hat und viele davon webbasiert sind, ist es wichtig, die Entwicklung dieser Plattform zu verstehen. In den folgenden Absätzen werden wichtige Ereignisse in der Entwicklung des Web erläutert.

Das Internet und das Web werden oft als Synonym verwendet, jedoch sind sie es nicht. *„The internet is a massive network of networks that connects millions of computers worldwide. [...] The World Wide Web is a system of interlinked hypertext documents and programs that can be accessed via the Internet primarily by using HTTP.”* (Fu & Sun, 2011:17)

Beim Web 1.0 handelte es sich um ein "Read-Only"-Web, was bedeutet, dass der Inhalt der Website nur betrachtet und gelesen werden konnte, aber kaum bis keine Interaktion mit dem Inhalt möglich war. Zu Beginn des Web 1.0 waren zum Beispiel statische, in das Web eingebettete Karten üblich. Die Entwicklung führte zu dynamischen Karten, bei denen die Benutzer einfache Anfragen an den Server stellen konnten, die Karte dynamisch erstellt wurde und der Client sie in Form einer Antwort erhielt. (vgl. Veenendaal et al., 2017)

Tim O'Reilly (2007), der mit der Konzeption des Begriffs Web 2.0 in Verbindung gebracht wird, beschreibt die Haupt Prinzipien des Web 2.0. Eines dieser Prinzipien ist die Verwendung des Web als Plattform, was die Umwandlung von Software in Dienstleistungen („Software as a Service (SaaS)“) anstelle von Produkten umfasst. (vgl. O'Reilly, 2007) ArcGIS Online und Google Street Maps sind Beispiele dafür.

Ein weiteres Prinzip ist die Nutzung kollektiver Intelligenz, welche die Bedeutung von Zusammenarbeit und nutzergenerierten Inhalten unterstreicht. (vgl. O'Reilly, 2007). Ein Beispiel dafür ist Open Street Maps (OSM). OSM ist eine Plattform, die eine kollaborative Geodatenbank hostet, zu der Nutzer*innen Daten und Informationen beitragen, bearbeiten und löschen können und welche in Form einer Karte dargestellt wird. (OpenStreetMap Austria, 2023)

Außerdem können Nutzer*innen im Web 2.0 durch „Lightweight Programming Models“ und sogenannten Mashups neue Funktionalitäten erstellen, in dem sie Inhalt aus verschiedenen Webquellen mischen. (vgl. Fu & Sun, 2011:10) Ein Beispiel dieses Programmierungsmodells ist AJAX (Asynchronous Javascript und XML), welche Google Maps benutzt.

“Mapping-related web services had been available for some time from GIS vendors such as ESRI as well as from MapQuest and Microsoft MapPoint. But Google Maps set the world on fire because of its simplicity.” (O'Reilly, 2007)

Die Möglichkeit, Web-Inhalte auf verschiedenen Geräten zu nutzen, ist ein weiteres Merkmal des Web 2.0, das von Tim O'Reilly (2007) erläutert wurde, ebenso wie die Bedeutung von Daten und Datenmanagement für die datengesteuerte Entscheidungsfindung

bei denen den Benutzer*innen ein breites Spektrum an Interaktivität und benutzerfreundlichen Funktionen zur Verfügung steht.

Fu & Sun (2011:17) stellen fest, dass der Begriff „Web 2.0“ hauptsächlich die neue Art von Nutzungsverhalten und Entwicklungstendenzen im Web beschreibt, anstatt sich nur auf technische Veränderungen zu beziehen. Haklay et al. (2008) stimmen diesem Ansatz zu und betonen, dass zum Beispiel “[...] *the functionality that allows the integration of information from multiple websites (mash-up) was possible by utilising the Open Geospatial Consortium (OGC) standards since 2000.*”

Fu & Sun (2011:17) fassen das Web 2.0 in der folgenden Gleichung zusammen:

$$\text{"Web 2.0 = User – generated content + the web as a platform} \\ \text{+ a rich user experience"}$$

Das Aufkommen des Web 2.0 hat wesentlich dazu beigetragen, die Interaktivität, den Echtzeit-Informationsaustausch und den partizipatorischen Charakter des Internets zu intensivieren. Dadurch sind die Nutzer zunehmend miteinander vernetzt und können von jedem Ort der Welt, durch verschiedene Geräte auf kollaborative Weise an verschiedenen Lösungen arbeiten. Diese Entwicklungen beeinflussten maßgeblich die Art und Weise, wie Informationen produziert, konsumiert und geteilt werden. (vgl. Roth et al., 2017)

Dies gilt auch im Zusammenhang mit Informationen mit einer geografischen Komponente. Im Vergleich zu gedruckten Karten haben Webkarten heutzutage eine größere Verbreitungsmöglichkeit. Web-Karten und Dienste können auch über verschiedene Geräte jederzeit und überall auf der Welt abgerufen und geteilt werden. Menschen können die Karten weltweit sogar verbessern und ergänzen und die Informationen in Echtzeit sehen und verfolgen. Außerdem sind sie auch für einer größeren Anzahl von Menschen zugänglich, da unter anderem Faktoren wie Produktionskosten gesunken sind (vgl. Kitchin et al., 2009:7).

Die sogenannte APIs (Application Programming Interfaces) sind noch ein wichtiger Begriff im Kontext von Web 2.0 und der heutigen vernetzten Welt. Ihr Einsatz hat sich, mit dem Aufkommen des Webs intensiviert und erweitert, obwohl es sie bereits vor dem Web gab. *“APIs are mechanisms that enable two software components to communicate with each other [sending requests and receiving responses] using a set of definitions and protocols”* (AWS, 2023)

Diese spielen eine bedeutende Rolle bei der Konnektivität und Systemintegration, da sie den Austausch von Daten und Funktionen zwischen verschiedenen Anwendungen und Plattformen ermöglichen. Nutzer*innen haben durch APIs Zugriff auf zentralisierte qualitative Informationen wie Satelliten Daten, Karten, Orthophotos, etc. Darüber hinaus, durch ihre relativ einfache Anwendung können immer mehr Menschen mit (Geo-) Informationen aus verschiedenen Quellen ("Mashing Up") Anwendungen erstellen, austauschen und an ihre Bedürfnisse anpassen. (Haklay et al., 2008)

Im Unterschied zum gut definierten Web 2.0 hat der Begriff "Web 3.0", auch bekannt als das „semantic Web“ (Berners-Lee, 1998) oder „executable Web“ (Choudhury, 2014; Naik und Shivalingaiah, 2008), bisher keine allgemein anerkannte Definition. (Sandal et al., 2023)

Obwohl die Definition des Webs 3.0 in Diskussion und Entwicklung ist, gibt es eine Reihe von Begriffen, welche mit Web 3.0 in Verbindung gebracht werden und generell als Bestandteil der Innovationen dieser Generation des Webs anerkannt sind. Beispiele für solche Begriffe sind folgende: „Semantic Web“, „Blockchain“, „Decentralized Storage“, „Edge Computing“ (vgl. Gan et al., 2023) „Security and Intrusion“, „Artificial Intelligence (AI)“, „Machine Learning (ML)“, „Ubiquity“ in Zusammenhang mit dem „Internet of Things (IoT)“ (vgl. Sandal et al., 2023), „computing power networks“, „distributed data storage“, „blockchain“ (vgl. Xu et al., 2023).

„Augmented Reality (AR)“ und „Virtual Reality (VR)“ werden auch als Komponente des Webs 3.0 bezeichnet (Blockchain Council, 2023). Ebenso werden Eigenschaften wie „3D“, „more intelligent“, „decentralized“ (vgl. Gan et al., 2023) „immersiv“ (Naik und Shivalingaiah, 2008) im Zusammenhang mit dem Begriff Web 3.0 gebracht.

Gan et al. (2023) unterscheiden zwischen Web 3.0 und Web3. Die Bezeichnung Web3 wurde von Gavin Wood, dem Mitbegründer von „Ethereum“ (eine Plattform für Kryptowährungen) geprägt (vgl. Gan et al., 2023). Sandal et al. (2023) differenzieren ebenfalls den Begriff im Kontext der Blockchain, erwähnen jedoch nicht die Bezeichnung Web3.

Das Web3.0 ist kommerzieller ausgerichtet, beinhaltet wirtschaftliche Elemente und betont die Dezentralisierung der „Governance“ durch Blockchain-Technologie (vgl. Gan et al., 2023:1267). Das bedeutet, dass es keine zentrale Entität mit absoluter Kontrolle über Systeme und Plattformen gibt. Stattdessen erfolgt diese Kontrolle mittels der Blockchain-Technologie dezentral verteilt. Das Web 3.0 ist kompatibler mit der aktuellen Web-Architektur, es integriert weit verbreitete verteilte Technologien in ein dezentralisiertes System, so dass das Eigentum an den Daten bei den Nutzern selbst und nicht bei zentralen Verwaltungen liegt. (vgl. Gan et al., 2023:1273)

Das Web 3.0 greift im Prinzip die Vision von Timothy John Berners-Lee auf und legt den Schwerpunkt auf die Notwendigkeit, dass Maschinen menschliche semantische Ausdrücke verstehen können. Außerdem zeichnet es sich unter anderem durch Dezentralisierung, höhere Intelligenz, einen benutzerzentrierten Ansatz, Privatsphärenschutz, 3D, Konnektivität, Empowerment, Personalisierung und Ubiquität aus (vgl. Gan et al., 2023).

Technologien wie „Artificial Intelligence“ (vgl. Gan et al., 2023: 1268) und „Machine Learning“ tragen dazu bei, das Web generell intelligenter und benutzerfreundlicher zu machen. Technologien wie „Virtual Reality“ und „Augmented Reality“ tragen dazu bei, das Web immersiver zu machen.

Ein Beispiel für „Web3-Mapping“ ist das Start-up-Unternehmen "Hivemapper", das sich auf die Bereitstellung von Mapping-Diensten im Kontext des Web 3.0 konzentriert. Ihre Vision ist es, eine dezentrale Alternative basierend auf Blockchain Technologie zu Google Maps zu schaffen, ähnlich wie OpenStreetMaps OSM, mit noch regelmäßiger aktualisierten Karten, die gemeinschaftlich erstellt werden. Die Teilnehmer*innen werden mit einer Kryptowährung belohnt. (vgl. Chevallier, 2022).

Noch eine tendenzielle Technologie sind die „Quantum Computer“. *„With the rapid realization of quantum devices, Web 3.0 is being developed in parallel with the deployment*

of quantum cloud computing and quantum Internet.“ (Xu et al., 2023) Obwohl sie sich noch in einer sehr frühen Phase der Entwicklung befindet, hat „Quantencomputing“ das Potenzial, die Verarbeitung und Analyse großer Mengen von Daten inklusive Geodaten erheblich zu verändern.

Der Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVW)-Präsident Prof. Dr.-Ing. Hansjörg Kutterer (2021), behauptet, dass innovative Entwicklungen auf der Grundlage der Quantenphysik neben fortgeschrittenen Technologien wie "Deep Learning" in den kommenden Jahren zu einer weiteren Disruption in der Geowissenschaftsbranche führen werden (vgl. GIM International, 2021) und stellt folgendes fest: „[...] *quantum computers will further speed up time-consuming computations.*“ (GIM International, 2021)

Spezifisch im Kontext des „Web-Mapping“ haben sich zahlreiche Wissenschaftler*innen mit dieser Entwicklung auseinandergesetzt und verschiedene Entwicklungsstufen vorgeschlagen und beschrieben. Die folgende Abbildung fasst die Vorschläge und Perspektiven dieser Wissenschaftler in Bezug auf die Entwicklung des Web-Mappings zusammen. (siehe Abbildung 25)

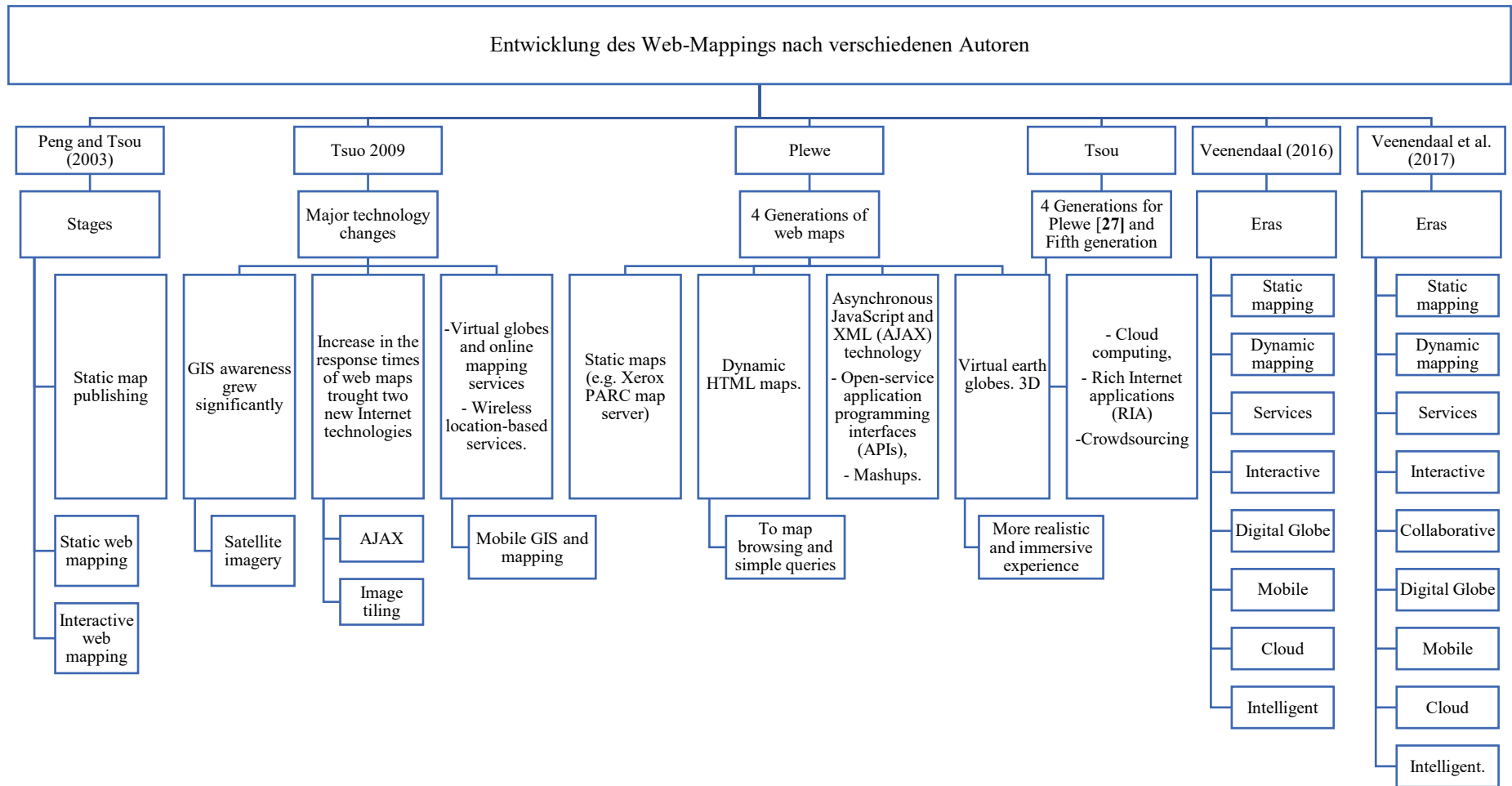


Abbildung 25. Entwicklung des Web-Mappings nach Veenendaal et al. (2017)
 Quelle: In Anlehnung an Veenendaal et al. (2017)

Veenendaal (2016) und Veenendaal et al. (2017) schlagen acht beziehungsweise neun Ären der Entwicklung des Webmapping vor.

„The generations of general web development have laid the foundation for web mapping development, which has come through a number of distinct yet interconnected or overlapping stages.“ (Veenendaal et al., 2017).

Die erste Ära bezieht sich auf statische Karten gefolgt von der Dynamik-, Service-, Interaktions- und Kollaborationsphasen (welche Veenendaal et al. (2017) zur Beschreibung von Veenendaal (2016) hinzufügen), gefolgt von der Digital Globe-, Mobile- und Standortbasierten-, Cloud Web Mapping-Ära und schließlich der Intelligent Web Mapping-Ära. (vgl. Veenendaal, 2016; Veenendaal et al., 2017)

Eine der ersten kartenbezogenen Webanwendungen war der „Xerox PARC Map Viewer“. Diese Anwendung wurde 1993 vom Xerox PARC („Palo Alto Research Center“) entwickelt. (vgl. Fu & Sun, 2011:7)

„This application combines the ability of HTML documents to include graphical images [via HTML-Tag] with the ability of HTTP servers to create new documents in response to user input.“ (Putz, 1994):275

Die Anwendung enthielt Funktionen wie zum Beispiel Pan und Zoom, Layer-Auswahl oder Konvertierung der Kartenprojektion (vgl. Putz, 1994:275, Fu & Sun, 2011:7), mittels Links, mit denen die Benutzer*innen die Karte steuern konnten und den gewünschten Kartenausschnitt auswählen konnten. Außerdem war es möglich, die Kartenbilder als GIF zu erhalten und diese auf anderen Webseiten oder Dokumenten zu verwenden. (Putz, 1994:275)

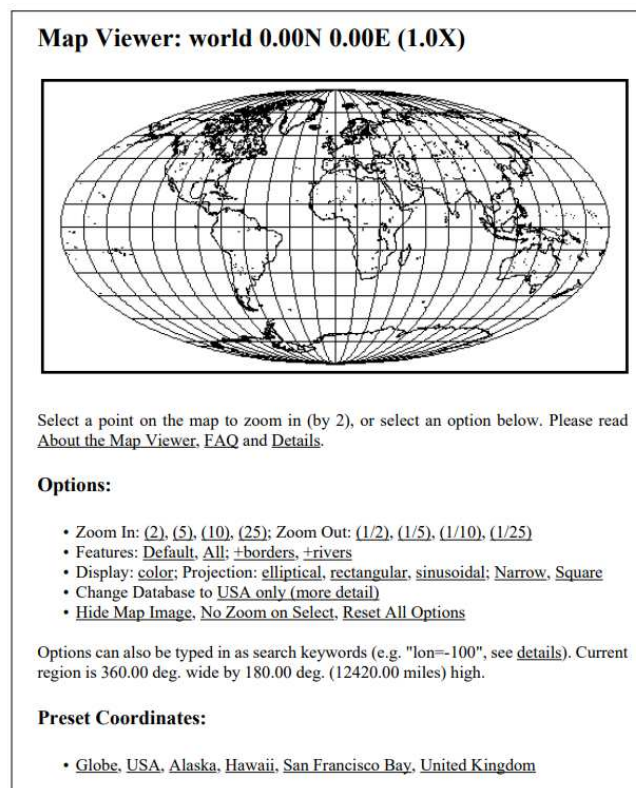


Abbildung 26. Xerox PARC Map Viewer

Quelle: (Putz, 1994)

Zu Beginn des Internets und des Webs war der Zugang zu Webkarten auf eine kleine Anzahl von Nutzer*innen beschränkt, bei denen es sich in der Regel um Expert*innen handelte. Heutzutage ist die Verwendung von Webkarten so weit verbreitet, dass die meisten Menschen bewusst oder unbewusst Karten in ihrem täglichen Leben nutzen. Sowohl die Anzahl an Nutzer*innen und deren unterschiedliche Rollen als auch die Vielfalt der wissenschaftlichen Bereiche und Disziplinen, in denen Webkarten eingesetzt werden, haben sich enorm ausgeweitet. (vgl. ebd)

Außerdem hat sich durch die oben genannten Entwicklungen die Rolle der Nutzer*innen weiterentwickelt, so dass sie nun mit den Karten interagieren, sie individuell anpassen und bestimmte Informationen zur Visualisierung auswählen können. Zudem wurde die Benutzerfreundlichkeit verbessert. Verschiedene Visualisierungs- und Interaktionsarten wie 2D, 3D, Virtual Reality (VR), „Augmented Reality“ (AR) stehen heutzutage zur Verfügung mit verbesserter Leistung in Bezug auf Reaktionszeiten und Darstellung. Darüber hinaus können diese Informationen nun jederzeit und überall abgerufen werden, unter anderem dank der Cloud-Technologie über verschiedene Geräte wie Handys, Tablets, etc., was den Zugang zu den Informationen unabhängig von Zeit und Ort erleichtert. (vgl. ebd)

Diese Informationen und im Allgemeinen Geoinformationen stammen oft aus einer Vielzahl von Quellen und können beispielsweise mit völlig unterschiedlichen Erfassungsmethoden erhoben worden sein, was zu Datensätzen mit unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie unterschiedlichen Attributen und Maßstäben führen kann. (vgl. Kraak, 2004) Durch die Standardisierung des Open Geospatial Consortiums (OGC) kann der Austausch von Informationen und die Interoperabilität von Geodaten zwischen Anwendungen und Organisationen auf organisierte Weise erfolgen. „*OGC Standards are the glue to geospatial information interoperability*“ (OGC, 2023)

Der Open Geospatial Consortium (OGC) hat über 80 Standards entwickelt, darunter „GeoPackage“, „Geography Markup Language“ (GML), „GeoTIFF“, „KML“, „Web Feature Service“ (WFS), „Web Map Service“ (WMS), „Web Map Tile Service“ (WMTS), und „Web Processing Service“ (WPS) unter anderem. Jeder dieser Standards wird für verschiedene Zwecke im Bereich der Geoinformation verwendet. (ebd.)

Laut Veenendaal (2016) und Veenendaal et al. (2017) verweist die letzte Ära auf die Intelligente Web Mapping Ära, in welcher der Trend darin besteht, intelligentere und weiter automatisierte Systeme zu gestalten, um die Organisation und das Verständnis von Informationen zu verbessern. Dies ist von hoher Bedeutung in Zeiten, in denen immense Daten- und Informationsmengen generiert werden, um Wissen zu erzeugen. Außerdem betonen sie die Wichtigkeit der Sicherstellung von Datenqualität und -zugänglichkeit, um den Nutzern wertvolle Erkenntnisse zu liefern und die Entscheidungsfindung in verschiedenen Kontexten zu optimieren.

Veenendaal et al. (2017) stellen fest: „*The masses of data must be turned into useful and relevant information from which decision-making occurs.*“ und verwenden die DIKIW-Pyramide (siehe Abbildung 27) um zu beschreiben, wie diese nutzbaren Informationen

durch verschiedene Webkarten-Dienste und Geoverarbeitungswerkzeuge, inklusive (Geo-) Dashboards, bereitgestellt werden können.

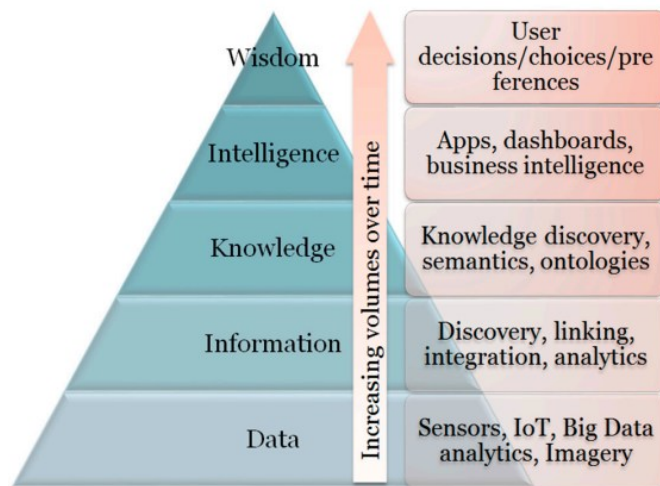


Abbildung 27. Trends und Entwicklungen in der DIKIW-Pyramide.
Quelle: (Veenendaal et al., 2017)

Die Entwicklung des Webs und die Art und Weise, wie wir mit Karten und geographischen Informationen interagieren, haben neue Möglichkeiten, aber auch neue Herausforderungen mit sich gebracht, welche Anpassungsfähigkeit erfordern.

George Gartner (2009) beleuchtet hierbei folgende Aspekte im Kontext des Web 2.0:

- Die Qualität von Daten und Karten,
- Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre,
- Bedenken hinsichtlich Autorenschaft,
- Die Notwendigkeit, Designprinzipien im Web anzupassen.

Der weit verbreitete Zugang zur Kartenerstellung über Online-Werkzeuge hat die kartographische Landschaft grundlegend verändert. Diese Fähigkeit, die früher nur Expert*innen und professionellen Kartograph*innen vorbehalten war, steht jetzt jedem zur Verfügung, der Zugang zum Internet hat (vgl. Gartner, 2009). Letzteres stellt zugleich eine Herausforderung im Zeitalter der Globalisierung dar.

Obwohl derzeit etwa zwei Drittel der Weltbevölkerung über einen Internetanschluss verfügen, sind Internetabdeckung und -zugang nicht überall auf der Welt gleich (vgl. Fernández, 2023). Aus diesem Grund gibt es einige Regionen, die noch unerforscht sind. (vgl. Gartner, 2009:75)

Im Hinblick auf die oben erwähnte Demokratisierung des Web-Mapping sowie der Möglichkeit, kollaborativ zu arbeiten, stellen die Qualität und Glaubwürdigkeit der verwendeten Daten sowie die Genauigkeit der erstellten Karten eine Herausforderung dar. (ebd.) Deswegen sind allgemeine Regeln, „Best Practices“ und Standarisierungen, wie die

von Open Geospatial Consortium (OGC) wichtig, um die Qualität und Interoperabilität der Daten im gesamten GIS-Workflow zu gewährleisten.

In Bezug auf wie die Daten behandelt werden, gibt es zwei weitere Aspekte: einerseits offene Datenprojekte, wie beispielsweise jene, die unter Lizenzen wie Creative Commons arbeiten, setzen auf die Idee der offenen und gemeinschaftlichen Nutzung von Informationen. Hierbei sind die Daten für den Zugriff, die Verwendung und die Modifikation durch andere Nutzer gemäß der Lizenzbedingungen verfügbar. Diese Transparenz und Verfügbarkeit können im Konflikt mit dem Wunsch des kommerziellen Sektors stehen, nämlich Exklusivität und Kontrolle über die Daten zu bewahren, um den Wettbewerbsvorteil zu schützen. (vgl. Gartner, 2009: 77ff.)

Andererseits tragen kommerzielle Unternehmen die Verantwortung, die Privatsphäre der Daten ihrer Kunden und Nutzer zu schützen. In offenen Datenumgebungen kann es schwieriger sein, den Schutz der Privatsphäre zu gewährleisten, da diese Daten für ein breiteres Publikum zugänglich gemacht werden sollen. (vgl. Gartner, 2009)

Neben dem Datenschutz ist ein weiterer kritischer Aspekt dieser offenen und kollaborativen Ansätze die Urheberschaft von Daten, Produkten und Dienstleistungen im Web. Die Verwendung von „Mashups“ stellt beispielsweise eine Herausforderung in Bezug auf den Umgang mit geistigem Eigentum und die korrekte Zuordnung zu den Originalquellen dar. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Anerkennung der Urheberschaft und der Rechte von Primärquellen. (vgl. Gartner, 2009:75ff., Burgstaller, 2017:19f.)

Eine unklare Zuordnung bei der Zusammenführung von Daten aus verschiedenen Quellen führt nicht nur zu einem Verlust des geistigen Eigentums und gefährdet das Urheberrecht, sondern kann wiederum zu Unsicherheiten über die Legitimität der kombinierten Daten führen.

Die Entwicklungen des Web 3.0, wie sie oben beschrieben wurden, deuten darauf hin, dass die von Gartner (2009) genannten Herausforderungen am besten durch ein sichereres, offeneres und dezentraleres Web 3.0 bewältigt werden können. Die technischen Innovationen des Web 3.0 bringen grundlegende Veränderungen in Bezug auf Datenverarbeitung und -speicherung mit sich und führen zu mehr Sicherheit und Dezentralisierung. Der Übergang zu diesem neuen Paradigma wird jedoch einige Hürden mit sich bringen, die es zu überwinden gilt.

Gartner (2009: 76f.) stellt im Zusammenhang mit dem oben erwähnten Web Mapping 2.0 eine weitere Herausforderung dar, welche sich aus der Notwendigkeit der Anpassung an die Designprinzipien im Web [und zusätzlich auf verschiedenen Geräten ergibt]. „*Professional cartographers are just beginning to identify design principles for the Web in order to achieve effective and aesthetic digital maps*“ Gartner (2009: 76)

Halik (2012:21) synthetisiert visuelle Variablen, einschließlich traditioneller kartografischer visueller Variablen, die Bertin (1967) vorschlug, wie Form, Größe, Farbe, Textur, sowie „neue“ visuelle Variablen, die von anderen Autoren vorgeschlagen wurden und auf das Webdesign anwendbar sind. (siehe Abbildung 28)

“The possibilities offered by the Web have extended the traditional cartographic variables as proposed by (Bertin 1967). Web design software enables the application of new variables, like blur, focus, and transparency, while shadow and shading play a prominent role as well.” (Kraak, 2004:87f.) Obwohl Kraak (2004) dies im Jahr 2004 schrieb, schreitet die Technologie weiter voran und es besteht immer noch Bedarf an einer weiteren Anpassung der Variablen und dem Verständnis, welche Variablen in welchen Umgebungen am besten funktionieren.

Halik (2012:36ff.) untersucht zum Beispiel den Nutzbarkeitsgrad einzelner Merkmale die fünfzehn statischen visuellen Variablen der vorherigen Abbildung (siehe Abbildung 28) in „Augmented Reality“ (AR) -Systemen.

Diese Untersuchung von Halik (2012) ist ein Beispiel für die kontinuierliche Entwicklung des technologischen Fortschritts und verdeutlicht die Notwendigkeit der Anpassung an Veränderungen im technologischen Umfeld.
















Visual Variable	Author	Example
Size	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Shape	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Lightness/ value	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Color (hue+saturation)	Bertin (1967/83).	
Orientation	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Texture	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Tyner (2010).	
Location	Bertin (1967/83), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Hue	Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Saturation/ intensity	Morrison (1974), MacEachren (1995), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Arrangement	Morrison (1974), MacEachren (1995), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Focus/ crispness	MacEachren (1995).	
Resolution	MacEachren (1995).	
Transparency	MacEachren (1995).	
Spacing	Slocum et al. (2010).	
Perspective Height	Slocum et al. (2010).	

Abbildung 28. Visuellen Variablen
Quelle: (Halik, 2012:21)

Bisher wurde auf die kontinuierlichen Entwicklungen und Fortschritte im Web hingewiesen, welche die Art und Weise, wie wir mit Geodaten interagieren, grundlegend verändert und zur Entwicklung digitaler Karten geführt haben und spezifisch auf die Entwicklung des Webmappings. In den nächsten Abschnitten wird die Rolle der Web-Karten im Allgemeinen und spezifisch in Geodashboards erläutert.

2.6.2 Funktionen der Karten im Web

Wie Papierkarten dienen Webkarten der Kommunikation, der Modellierung von Phänomenen der Realität und ihrer visuellen Darstellung. Karten ermöglichen es den Nutzern auch, Standorte zu finden, verschiedene Arten von Daten zu explorieren und zu visualisieren und verschiedene Phänomene zu kontextualisieren. (vgl. Kraak, 2004)

Kraak (2004) fokussiert sich auf die Perspektive der Implikationen der Diversifizierung der Rolle von Karten in WebGIS Umgebungen und schlägt vor, dass die Karten nicht nur dazu dienen, die Endergebnisse der räumlichen Analyse darzustellen.

Neben ihrer traditionellen Funktion, nämlich eine partielle Abstraktion der Realität darzustellen, aus der sich Muster und Beziehungen ableiten lassen, können Karten auch als: "Suchmaschine" auf der Grundlage von Metadatenbeschreibungen genutzt werden, um nach Informationen zu suchen und verschiedene Daten anzuzeigen. (vgl. Kraak, 2004)

Diese können auch eine Schnittstelle sein, was Kraak (2004) als "Metapher" beschreibt, die es ermöglicht, Karten für weitere Details oder andere geografische oder nicht-geografische Daten zu verlinken und ganz allgemein als exploratives Werkzeug, welches das visuelle Denken anregt. (vgl. Kraak, 2004) (siehe Abbildung 29)

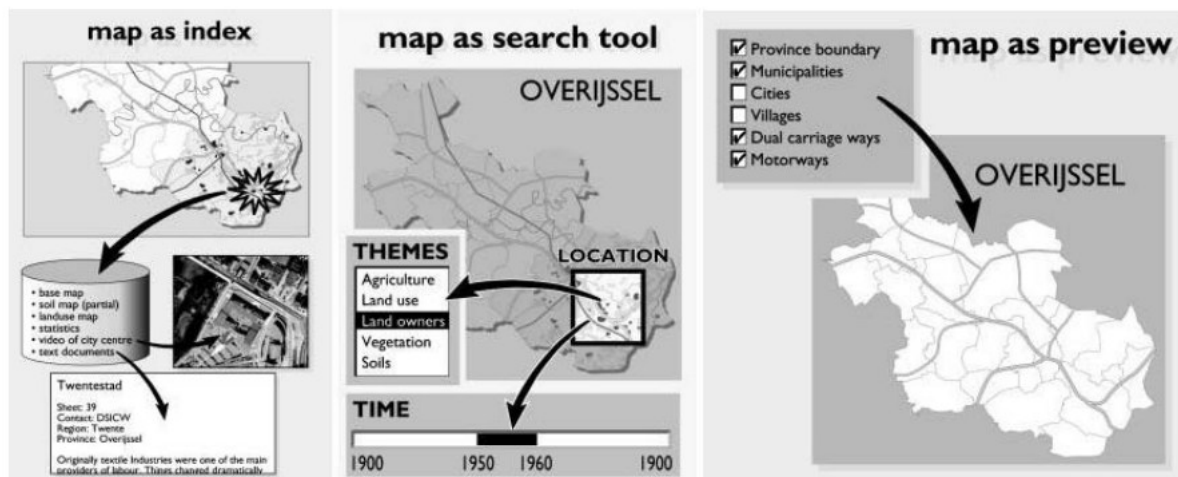


Abbildung 29. Die Rolle von Karten in WebGIS Umgebungen
Quelle: (vgl. Kraak, 2004)

Miller (2007) betont auch zwei verschiedene Funktionen von Karten. Einerseits Karten als Organisatoren von Inhalten, andererseits Karten mit multimedialen Inhalten als Kommunikationsmittel zur Verbesserung der Kartendekodierung und -interpretation.

Ormeling (2007) trägt mit seiner Arbeit zu zusätzlichen Perspektiven der vielfältigen Funktionalitäten von Karten in multimedialen Umgebungen bei. (siehe Abbildung 30)

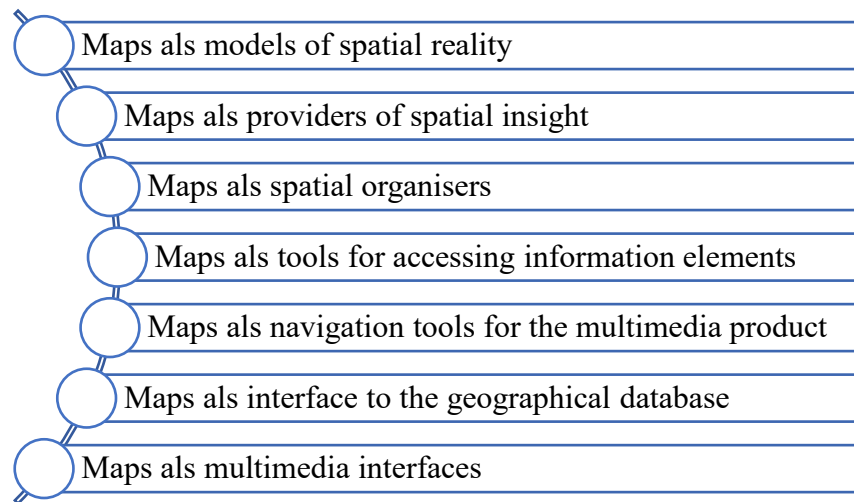


Abbildung 30. Kartenfunktionen in multimedialen Umgebungen
Quelle: In Anlehnung an (Ormeling, 2007)

Die Karte, als Schnittstelle, erfüllt verschiedene Funktionen, welche über die reine Darstellung hinausgehen. Ihre Vielseitigkeit erstreckt sich auf Funktionen wie Navigation, Verwaltung, Referenz, unter anderem (vgl. Ormeling, 2007).

Interaktive Karten in (Geo-) Dashboards in Kombination mit anderen Visualisierungen dienen als Informationsplattform. Nutzer können mit Daten in verschiedenen Dimensionen und Auflösungen interagieren und Beziehungen und Muster in diesen Daten erkunden. (vgl. Zuo, Ding, & Meng, 2019:3)

Bei Geodashboards wird zwischen zwei Arten von Dashboards unterschieden: solche, bei denen Karten in ähnlicher Gewichtung wie andere Dashboard-Elementen erscheinen, und solche, bei denen die Karte die Hauptkomponente darstellt. (vgl. Jing et al., 2019). In der Literatur werden diese üblicherweise als Geodashboards bzw. kartenbasierte Dashboards bezeichnet. (siehe Abbildung 31)

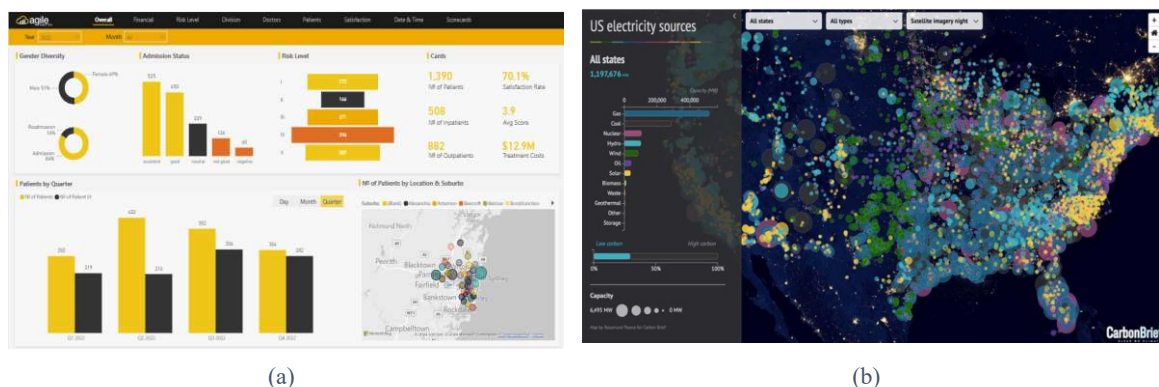


Abbildung 31. (a) Geodashboard und (b) Map-based Dashboard
Quelle: (a) (Agile Analytics, 2024) (b) (Evans & Pierce, 2017)

Im Folgenden wird die Rolle von Karten in drei Geodashboards exemplarisch dargestellt, wie sie in der akademischen Literatur aus verschiedenen Bereichen beschrieben wurden:

- AGORA

AGORA ist ein operationales Geodashboard, das von Horita et al., (2014) mit Open-Source-Geodiensten und -Frameworks wie der GeoExt API, JavaScript und OpenLayers erstellt und im Kontext des Risikomanagements entwickelt wurde, um Hochwasserrisiken in Echtzeit zu überwachen und den Entscheidungsprozess zu unterstützen. Das Geodashboard wurde während zweier starker Niederschlagsereignisse im Jahr 2013 in Brasilien in einem realen Hochwasserszenario getestet. (vgl. Horita et al., 2014).

In diesem Geodashboard erfüllt die Karte zwei Funktionen. Einerseits bietet sie einen räumlichen Überblick über das zu überwachende Gebiet, andererseits zeigt sie die strategische Position der Sensoren in Form von Punkten, welche den Zugang zu detaillierten Informationen über jede Region ermöglichen, in der sich die Sensoren zur Überwachung des Wasserstands in Echtzeit befinden (siehe Abbildung 32).

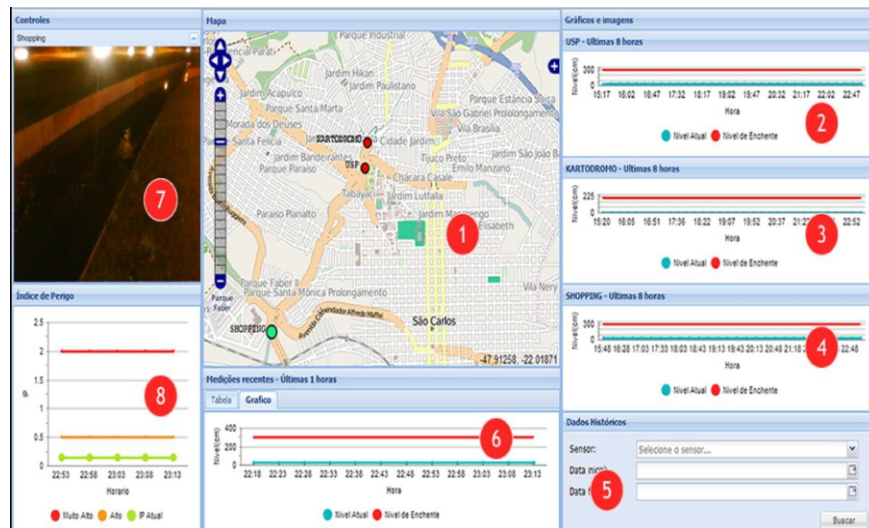


Abbildung 32. AGORA Geodashboard
Quelle: Horita et al., (2014)

➤ InDash

Das Geodashboard InDash “Industrial Innovation Environment” (IIE) von Zuo et al., (2022) stellt Informationen zum industriellen Innovationsumfeld auf verschiedenen Detailebenen dar und unterstützt Entscheidungsträger in der Privatwirtschaft. Dieses Geodashboard wurde ebenfalls mit Open-Source-diensten wie D3.js, Mapbox, Bootstrap erstellt. Die Karte gibt einen Überblick über die Standorte der Städte und zeigt die räumliche Verteilung der verschiedenen Kategorien des IIE in jeder Stadt. (vgl. Zuo et al., 2022)

Die Nutzer können zwischen Kategorien und Städten wechseln (im Selektionspanel aber nicht direkt auf der Karte). Die selektierten Städte werden in der Karte hervorgehoben und die Charts für die selektierten Kategorien werden gezeigt.

Dies ermöglicht den Vergleich von Faktoren innerhalb einer Stadt oder zwischen verschiedenen Städten. (ebd.) (siehe Abbildung 33)

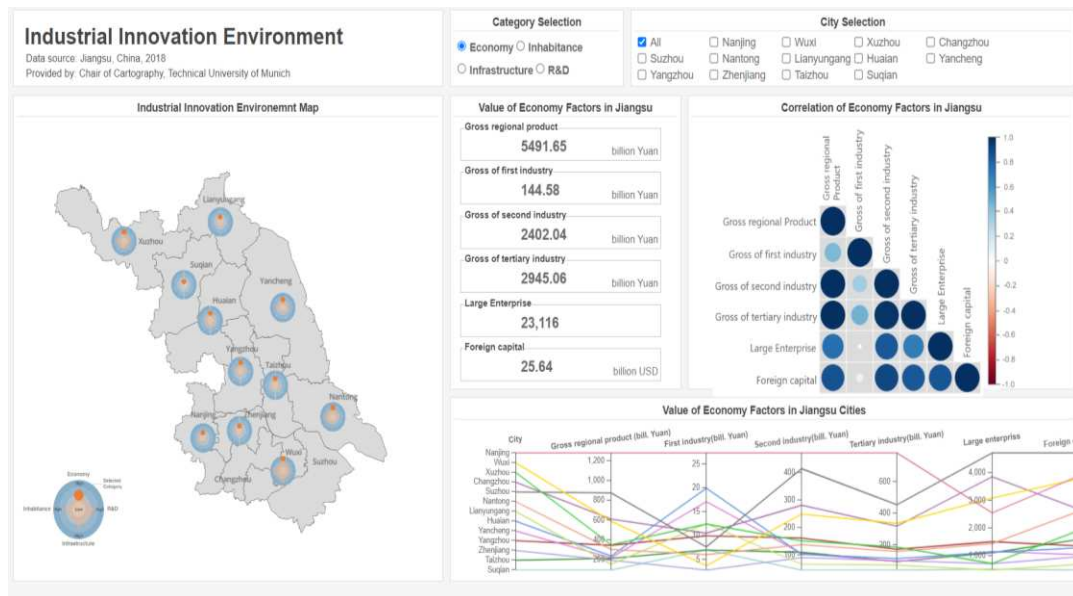


Abbildung 33. InDash Geodashboard
Quelle: Zuo et al. (2022)

➤ Origin Destination Dashboard (Air Traffic)

Dieses anpassende Geodashboard wurde von Rahman, (2017) in Tableau erstellt. Ihr Ziel ist es, den Nutzer*innen die effektive Erkundung und das Verständnis von „origin-destination“ (OD) zu erleichtern. Außerdem ermöglicht es den Nutzer*innen, Muster, Trends und Beziehungen in diesen Daten zu analysieren. (vgl. Rahman, 2017)

In diesem Geodashboard dient die Karte nicht nur als grundlegender Überblick über die Standorte, sondern auch als Filter für andere Daten, durch Auswahl der Elemente auf der Karte.

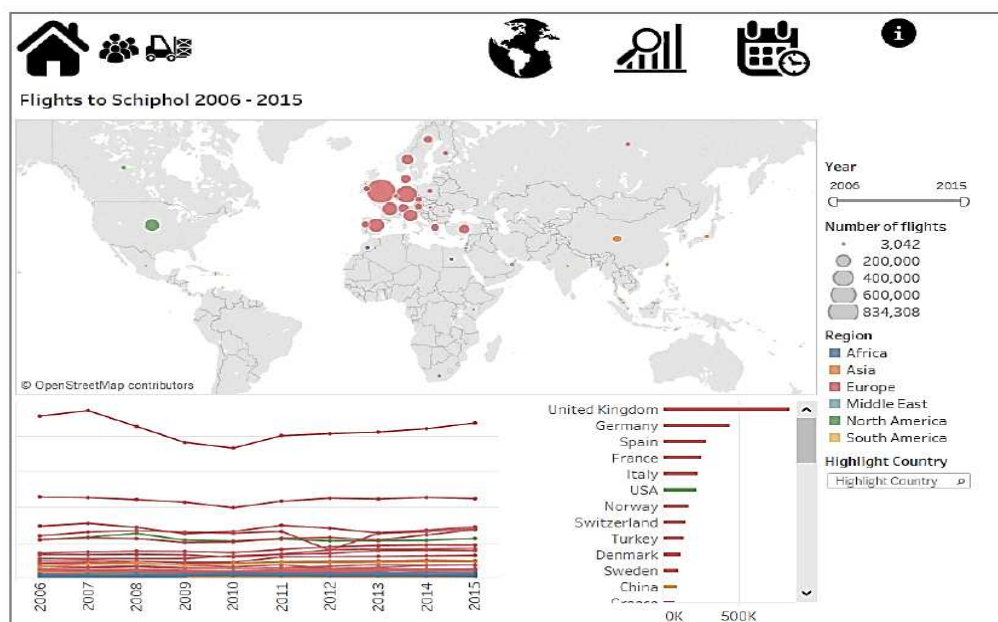


Abbildung 34. Origin Destination Dashboard (Air Traffic)
Quelle: Rahman, (2017)

2.7 Technologien für die Erstellung von Geodashboards

Für die Erstellung von Geodashboards stehen verschiedene Software und Tools zur Verfügung, die je nach Zielsetzung und Anwendungsbereich geeigneter sind als andere. In diesem Abschnitt werden verschiedene Software und Tools vorgestellt und verglichen. Anschließend wird das geeignetste Tool ausgewählt, um das allgemeine Ziel dieser Masterarbeit zu erfüllen.

Einerseits gibt es Softwareprogramme, die vorgefertigte Vorlagen und Layouts anbieten, mit denen sich Geodashboards in den meisten Fällen per Drag-and-Drop erstellen lassen und die wenig oder gar keine Programmierung erfordern. Andererseits stehen Werkzeuge zur Verfügung, welche durch die Implementierung von Code die Erstellung von Geodashboards von Grund auf ermöglichen. Im Folgenden werden diejenigen Technologien beschrieben, welche in wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Artikeln im Kontext von Geodashboards am häufigsten erwähnt werden.

2.7.1 ArcGIS Dashboards

ArcGIS Dashboards von ESRI, ermöglichen Informationen zu vermitteln „[...] indem lagebezogene Analysen mit intuitiven und interaktiven Datenvisualisierungen auf einem einzelnen Bildschirm präsentiert werden.“ (ESRI, 2023)

Dieses Tool erleichtert die Erstellung verschiedener Arten von Dashboards, nämlich strategische, taktische, operative und informative Dashboards, und zwar auf eine leicht verständliche, interaktive, flexible, konfigurierbare und sofort einsatzbereite Weise, um Entscheidungen zu treffen, Trends zu visualisieren, den Status in Echtzeit zu überwachen und die Benutzer zu informieren. (vgl. ESRI, 2023)

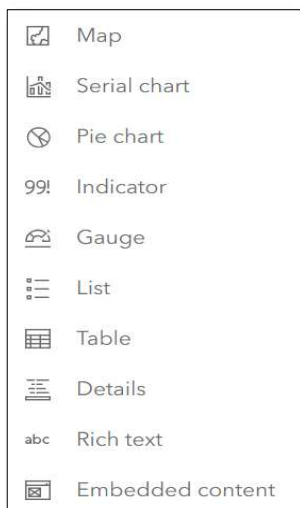


Abbildung 35. ArcGIS Dashboards Elemente
Quelle: ESRI, 2023

ArcGIS Dashboards bestehen aus konfigurierbaren Elementen einschließlich: Karten, Reihen-Diagramme, Kreisdiagramme, Indikatoren, Skalen, Listen, Tabellen, Details, Text und weitere eingebettete Inhalte. (ebd.) Diese Elemente können gestapelt, gruppiert und skaliert werden, so dass alle Informationen auf einen Blick übersichtlicher und bei Bedarf detaillierter betrachtet werden können. Jedes Element lässt sich, wenn nötig konfigurieren. Schriftart und -größe, Text- oder Iconfarbe sowie Hintergrundfarbe können ebenfalls nach Bedarf angepasst werden. (ebd.)

Zusätzliche Einstellungen können zu den Karten hinzugefügt werden, zum Beispiel Kartenlegende, Pop-up-Fenster, Layer-Ansicht, Kompass und/oder Lesezeichen ein- oder ausblenden, zwischen verschiedenen Maßstabsleisten und Basiskarten wählen, Funktionen wie Vergrößern/Verkleinern, aktuelle Position finden und/oder Suche eines Orts aktivieren oder deaktivieren und den Zoom-Maßstab festlegen.

Kopfzeile, Seitenleiste, Filter (Drawer) sind ebenfalls in ArcGIS Dashboards konfigurierbar. Bezüglich des Designs gibt es Einstellungen sowohl für das Layout als auch für Karten, hier können Farben wie benötigt ausgewählt werden. Auch Einheitenpräfixe können angepasst werden, um die Lesbarkeit der Daten zu erleichtern. (ebd.)

Außer der Erstellung von Desktop Ansichten, ermöglichen ArcGIS Dashboards von ESRI die Erstellung von mobilen Ansichten, was ihre Nutzung noch flexibler macht. Wie andere ESRI-Produkte verfügen auch ArcGIS Dashboards über eine benutzerfreundliche Oberfläche und eine umfangreiche und verständliche Dokumentation.

2.7.2 Tableau

Tableau ist eine Business Intelligence-Software, mit der (Geo-)Dashboards erstellt werden können. Wie beim ArcGIS Dashboards können in Tableau auch Dashboards für verschiedenen Geräten erstellt werden.

Objekte wie Horizontale und vertikale Container, Text, Erweiterungen, „Frag die Daten“, „Data story“, Bilder, Leer (Platzhalter), Workflow, Website, Navigation, Herunterladen, „Einstein Discovery“ und Filter hinzufügen, können zu Dashboards in Tableau hinzugefügt werden. (vgl. Tableau Software, 2023).

„Erweiterungen“ erlauben die Integration weiterer Elemente oder verschiedener Elemente und Applikationen außerhalb Tableaus. "Frag die Daten" bietet die Möglichkeit, Konversationsabfragen für bestimmte Felder der Datenquelle einzugeben. „Einstein Discovery“ ermöglicht die Analyse von Daten basierend auf „machine learning“ und statistischen Modellen. (ebd.) Auch „floating objects“ (oder Pop-ups) können eingefügt werden und Funktionen wie filtern, suchen, hervorheben oder verknüpfte Ansichten können eingesetzt werden.

Tableau bietet noch zwei Funktionen: den Data Guide und den Beschleuniger. Der Data Guide ermöglicht eine detaillierte Betrachtung der Daten, während der Beschleuniger vorlagenbasierte Dashboards bereitstellt, die den Prozess der Erstellung vereinfachen. (ebd.)

Diese Software verfügt über 24 „out of the box“ konfigurierbare Visualisierungen, darunter Texttabelle, Dichtemarkierungen (Heatmaps), Hervorhebungstabelle, Symbolkarte, Karten, Kreisdiagramme, horizontale-, gestapelte-, nebeneinander- Balken, Baumkarten,



Abbildung 36. Tableau Visualisierungen.
Quelle: Tableau Software

Kreisansichten, Kreisnebeneinander, Liniendiagramme (fortlaufend und diskret), Zweifachlinien, Bereichsdiagramme (fortlaufend und diskret), Zweifachkombinationen, Streudiagramme, Histogramm-Ansicht, Boxplots, Gantt-Ansicht, Bullet-Diagramme und gepackte Blasen.

Die Dokumentation von Tableau bietet zusätzlich Webinare zur Erstellung von Dashboards sowie Best Practices und andere Themen im Zusammenhang mit Dashboards an.

Obwohl Tableau in der Lage ist, Formate wie Shapefiles, KML und Geojson zu akzeptieren und Verbindungen zu verschiedenen Datenbanken wie MySQL herzustellen, bietet es nicht die gleichen Möglichkeiten für räumliche Analysen wie ESRI-Produkte. Zudem gestaltet sich die Integration von Rasterdaten in Tableau nicht optimal. (vgl. Sigdel, 2022)

2.7.3 PowerBI

“Power BI is a collection of software services, apps, and connectors that work together to turn [...] unrelated sources of data into coherent, visually immersive, and interactive insights.” (Microsoft, 2023)

Power BI setzt sich aus drei grundlegenden Elementen zusammen, nämlich Power BI Desktop, Power BI Service (SaaS) und Power BI Mobile-Appls für Windows, iOS und Android. (vgl. Microsoft, 2023)

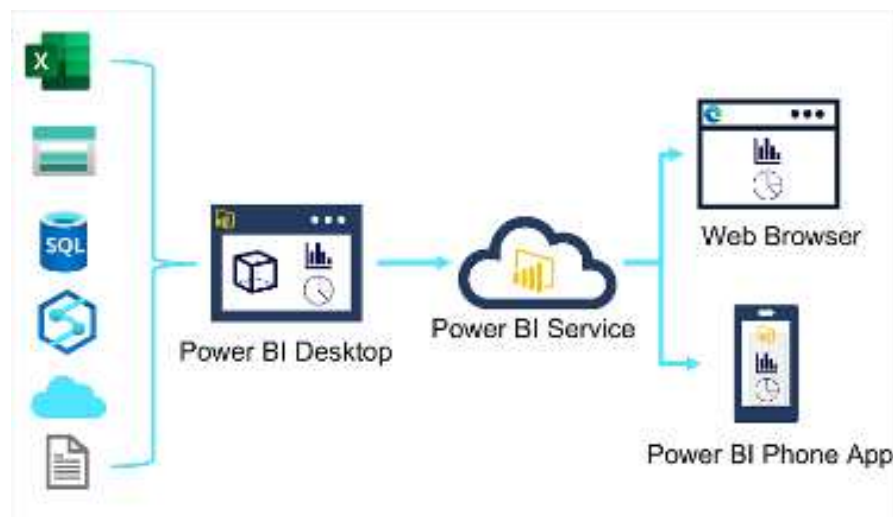


Abbildung 37. Power BI Software Services
Quelle: (Microsoft, 2023)

In Power BI werden Visualisierungen "Tiles" genannt. Diese können aus Berichten, anderen Dashboards, Excel-Dateien, Webinhalten, Bildern, Videos, Streaming-Daten (wie Twitter-Feeds oder Sensordaten) sowie Q&A stammen, die ähnlich wie "Ask Data" in Tableau funktionieren. (vgl. Ebd.)

Die folgenden "ready to use" Visualisierungen stehen in Power BI zu Verfügung: Flächendiagramme (einfach, überlappend und gestapelt), Balken- und Säulendiagramme, Cards (mehrzeilig und einzelne Zahl), Kombinationsdiagramme, Analysebaum, Ring-, Trichter-, Messgerät-, Linien-, Kreis-, Bänder-, Wasserfall- Diagramme, Punktdiagramm

(Punkt-, Blasen- und Punktplotdiagramm, Punktdiagramme mit hoher Dichte), Diagramm für die wichtigsten Einflussfaktoren, KPIs, Matrix, , Power Apps-Visual, Q&A-Visual, Visuelle R-Skriptelemente, Datenschnitte, Smart Narrative, Eigenständige Bilder, Tabellen und Treemaps.

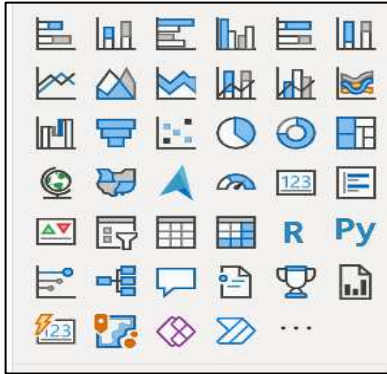


Abbildung 38. Power BI Desktop -
visuelle Elemente
Quelle: Power BI by Microsoft 2023

Power BI verfügt über eine breite Palette von Optionen zum Hinzufügen von Karten zu Dashboards, darunter: Einfache Karten, Choroplethenkarten, „Azure Maps“, „Shape Maps“, ArcGIS-Karten. Durch die „ArcGIS-Karte-Visualisierung“ („ArcGIS for Power BI“ von ESRI) können in ArcGIS vorbereitete Kartenfunktionen zu Power BI Dashboards hinzugefügt werden, um Daten und Analysen mit räumlichen Komponenten darzustellen.

Es können weitere visuelle Elemente abgerufen werden oder man kann sie aus einer Datei importieren. Allerdings sind nicht alle Visualisierungen in allen Elementen von Power BI (Desktop, Mobile, Online) verfügbar.

2.7.4 Programmierungswerkzeuge

Die Erstellung von interaktiven Geodashboards ist außer der oben erwähnten Software auch durch Programmierung möglich. Diese Methode bietet eine Vielzahl von Vorteilen: Erstens ermöglicht sie eine größere Flexibilität in Bezug auf Design und Funktionalität.

Durch die Programmierung ist es möglich, jedes Detail des Dashboards anzupassen, vom Layout der Elemente bis hin zur Aktualisierung und Präsentation der Daten sowie die erforderlichen analytischen Werkzeuge. Diese Flexibilität ermöglicht eine Anpassung des Geodashboards an die spezifischen Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzer und Umgebungen. Eine Einschränkung dieser Methode besteht allerdings darin, dass Programmierkenntnisse in Sprachen wie JavaScript (JS), Python, R sowie HyperText Markup Language (HTML) usw. Voraussetzung sind.

Für die Darstellung und das Design von Informationen im Web stehen Werkzeuge wie HTML, CSS („Cascade Styling Sheets“) und JavaScript zur Verfügung. Letzteres bringt Interaktivität und Dynamik auf Webseiten. CSS-Frameworks wie Bootstrap, JavaScript-Frameworks wie Angular sowie JavaScript-Bibliotheken wie React erleichtern das Web Frontend Development erheblich. (W3Schools, 2023)

Zum Hinzufügen und Erstellen von Karten stehen Tools wie Leaflet, Google Maps und die JavaScript-Bibliothek Mapbox GL zur Verfügung. In Bezug auf den Inhalt können verschiedene APIs genutzt werden. Für geographische Daten existieren beispielsweise die OpenLayers API und verschiedene ArcGIS APIs von Esri. Für die Speicherung und ebenfalls Abfrage von Daten sind Datenbanken von Bedeutung. Für Geodaten stehen beispielweise PostGIS (PostGIS PSC und OSGeo, 2023) und MongoDB (MongoDB, 2023) zu Verfügung.

Für die Daten Visualisierung und Datenanalyse stehen auch verschiedenen Werkzeuge zu Verfügung, zum Beispiel D3.js (Bostock & Observable, 2023), Shiny Package für R oder Python (Posit Software, 2023), Python Bibliotheken wie Matplotlib (Hunter, 2007), Seaborn (Waskom, 2021) und GeoPandas (GeoPandas, 2022) spezifisch für Geoinformationen, etc. Diese ist nur eine kurze Liste an Open Source Werkzeuge bei den breiten Möglichkeiten, die es gibt.

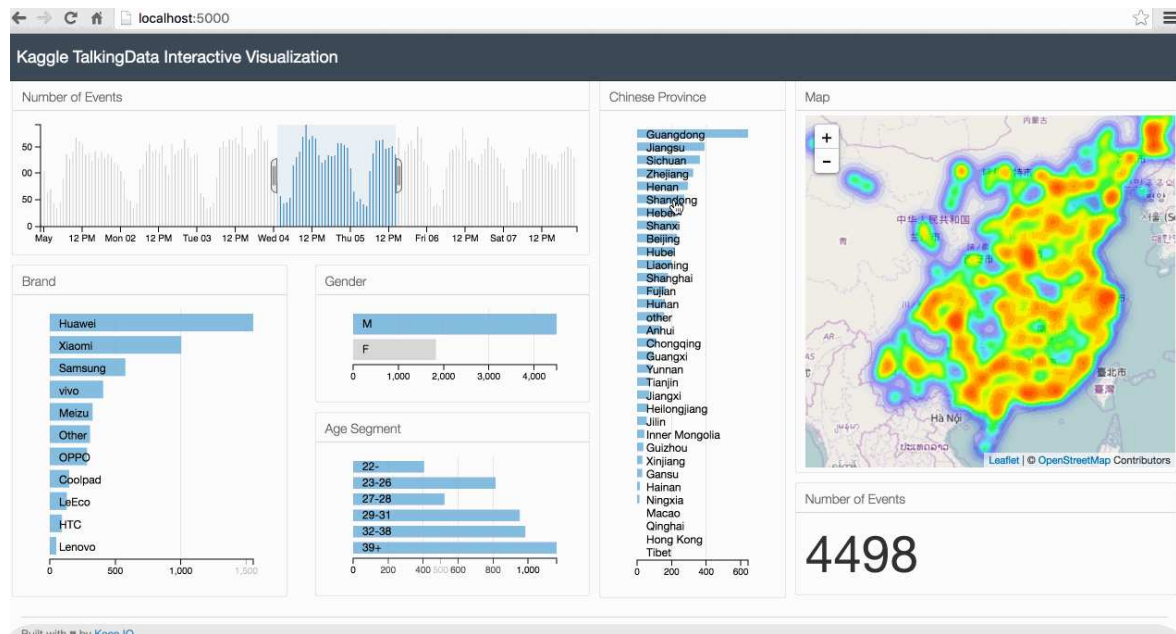


Abbildung 39. Interactive Data Visualization of Geospatial Data using D3.js, DC.js, Leaflet.js and Python
Quelle: Moujahid, (2016)

In dem folgenden Abschnitt wird eine komparative Tabelle zu diesen Technologien vorgestellt. Da die Erstellung von (Geo-)Dashboards mit Programmierwerkzeugen Programmierkenntnisse und Zeit zum Erlernen erfordert und alternative Optionen für den Zweck dieser Arbeit ebenso geeignet sind, werden diese Programmierwerkzeuge nicht berücksichtigt.

2.7.5 Technologien im Vergleich

Eigenschaft	ESRI-Dashboards	Tableau	Power BI
Lizenz	Kommerziell	Kommerziell (kostenlos und kostenpflichtig)	Kommerziell (kostenlos und kostenpflichtig)
Kostenlose Versionen / Probezeit	<ul style="list-style-type: none"> - Keine kostenlose Version für die Erstellung von Dashboards. - Probezeitraum: 21 Tage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tableau Public. Ermöglicht die Erstellung von Visualisierungen in Verbindung mit Excel-, CSV- und JSON-Dateien. (vgl. Tableau Software & Salesforce Company, 2024) - Probezeitraum: 14 Tage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Power BI Desktop. Ermöglicht das Erstellen und den Konsum von Inhalt und die Freigabe als PBIX-Datei. (vgl. Microsoft, 2023) - Probezeitraum: 60 Tage.
Web-Based / Desktop	ArcGIS Dashboards ist eine Web-Applikation. Die Datenvorbereitung kann in ArcGIS Desktop, ArcGIS Online oder ArcGIS Enterprise erfolgen. Die Erstellung des Dashboards erfolgt online.	Bei Tableau erfolgt die Erstellung von Dashboards in der Regel in Tableau Desktop und dann können diese in Tableau Cloud (neu Tableau Online) oder Tableau Server publiziert werden, um kollaborativ zu arbeiten. In Tableau Public können ebenfalls Dashboards im Web erstellt werden.	Bei Power BI wird Power BI Desktop verwendet, um Reports zu erstellen und zu veröffentlichen. Aus diesen Reports können Dashboards in Power BI Services erstellt und verteilt werden. Power BI Mobile ermöglicht den Zugriff auf Inhalte auf mobilen Geräten. (Microsoft, 2023)
Domain Ansatz	ArcGIS Dashboards eignen sich aufgrund ihrer umfangreichen räumlichen Funktionen und Werkzeuge besonders für Bereiche, in denen der Standort eine wichtige Rolle spielt, wie z.B. in der Raumplanung (vgl. Sigdel, 2022), obwohl es auch möglich ist, mit nicht georeferenzierten Daten zu arbeiten.	Primär wird Tableau für „Business Intelligence“ verwendet mit dem Fokus auf visueller Datenanalyse (Bauerfeind, 2024)	Power BI wird, wie Tableau für Business Intelligence benutzt. Den Fokus liegt auf der Daten Analyse, Modellierung und Reporting (Bauerfeind, 2024)
Barrierefreiheitsfunktionen	Bei ArcGIS Dashboards können die Namen ("accessible name") der einzelnen Items so eingestellt werden, dass sie von	Tableau unterstützt außer „screen reading software“, „keyboard navigation“ für manche	Power BI bietet ebenfalls Barrierefreiheitsfunktionen wie "keyboard navigation", "Screen-

	„screen reading softwares“, gelesen werden können. (vgl. ESRI, o.J.-b)	Elemente. (vgl. Tableau Software & Salesforce Company, 2024)	reader compatibility“, High contrast colors view, Focus mode, etc. (vgl. Microsoft, 2023)
“Out of the box” Visualisierungen	10	Ca. 24 (in Tableau Desktop)	Ca. 30 (in Power BI Desktop)
Unterstützte (Geo-) Dateien Formate	ArcGIS Dashboard ermöglicht die Nutzung von Layern oder Karten, die in ArcGIS Pro/Map oder ArcGIS Online vorbereitet wurden. Diese können eine Vielzahl von Formaten annehmen, die auf der Seite von Esri aufgeführt sind. Zudem können „Arcade Expressions“ verwendet werden, um Daten zu kombinieren oder anzupassen.	Tableau unterstützt folgende räumlichen Dateitypen: „[...] Shapefiles, MapInfo-Tabellen, KML, GeoJSON, TopoJSON-Dateien und gepackte Geodatenbanken in Form von Esri-Dateien.“ (Tableau Software & Salesforce Company, 2024)	Power BI unterstützt TopoJSON Dateien bei der Erstellung von Shape Karten. (vgl. Microsoft, 2023)
Unterstützte Karten Symbolisierungen	Einzelsymbol, Einzelwerte, abgestufte Farben, abgestufte Symbole, bivariate Farben, nicht klassifizierte Farben, proportionale Symbolisierung, Punktdichte, Diagramme, Heatmap, Wörterbuch (Verwendung mehrerer Attribute) (vgl. ESRI, o.J.-b)	Außer einfachen Karten können in Tableau proportionale Symbolkarten, Punktverteilungskarten, Dichtekarten (Heatmaps), Choroplethenkarten, Pfadkarten, Ursprung-Ziel-Karten, oder eine Kombination verschiedener Karten wie zweiachsige (geschichtete) Karten oder Karten mit Tortendiagrammen dargestellt werden. (vgl. Tableau Software & Salesforce Company, 2024)	In Power BI können einfache Karten, Choroplethenkarten, Shape Karten sowie ArcGIS Karten erstellt werden. (vgl. Microsoft, 2023)
Koordinatensysteme	ArcGIS unterstützt eine umfangreiche Liste sowohl von geographischen als auch von projizierten Koordinatensystemen.	In Tableau werden alle Daten in WGS84 (EPSG:4326) umgewandelt, sobald eine Verbindung mit den Datensätzen hergestellt wird. (vgl. Tableau Software & Salesforce Company, 2024)	Power BI unterstützt ebenfalls nur geographische Koordinatensysteme (Längen und Breiten Koordinaten) (vgl. Microsoft, 2023)

*Tabelle 2. Technologien im Vergleich
Quelle: Eigene Darstellung*

Die folgende Tabelle fasst wichtige Punkte der vorherigen Tabelle zusammen und enthält zusätzliche Erkenntnisse zu vergleichenden Technologien.

Eigenschaft	ESRI-Dashboards	Tableau	Power BI	Programmierungswerkzeuge
Kostenfreie Lizenz	X	X	X	–
Kostenlose Versionen oder Probezeit	✓	✓	✓	–
Datensätze aus verschiedenen Quellen	✓	✓	✓	✓
„Out of the box“ Visualisierungen	✓	✓	✓	X
Drag and Drop System	✓	✓	✓	X
Geräte Designer	✓	✓	✓	✓
Erstellung von Dashboards ohne Programmierkenntnisse (Basisfunktionalitäten)	✓	✓	✓	X
Personalisierte Visualisierungen	X	✓	✓	✓
„direkte“ Einbindung von Raster-/Vektor-Daten	✓	X	X	✓
Verschiedenen Koordinatensystem	✓	X	X	✓
3D Karten	✓	X	X	✓

*Tabelle 3. Vergleichende Übersicht der Technologien
Quelle: Eigene Darstellung*

Im Rahmen der vergleichenden Evaluierung der Technologien zur Erstellung von (Geo-)Dashboards wurden ArcGIS Dashboards als die am besten geeignete Technologie zur Erreichung des Ziels dieser Arbeit ausgewählt. Der entscheidende Vorteil von ArcGIS Dashboards gegenüber den anderen Tools besteht darin, dass sich ESRI im Vergleich zu den anderen Anbietern stärker auf Karten konzentriert, während die anderen beiden Technologien einen stärkeren Fokus auf Business Intelligence (BI) legen. Wie bereits erwähnt, soll ermittelt werden, ob Karten einen Mehrwert für Geodashboards darstellen, und ArcGIS ist das am weitesten entwickelte Tool in Bezug auf Kartenfunktionen.

Dieser Vergleich kann als Grundlage für weitere Studien dienen, jedoch sollte die spezifische Zielsetzung dieser Arbeit berücksichtigt werden, um die beste Entscheidung für ein geeignetes Werkzeug zu treffen.

2.8 Erkenntnisse aus der Literatur und Schlussfolgerungen des Kapitels 2

Im Rahmen der umfassenden Literaturübersicht in Kapitel 2 wird ersichtlich, dass die Faktoren und Merkmale, die berücksichtigt werden, um die Verständlichkeit und Nutzbarkeit von Geodashboards für verschiedene Nutzergruppen zu fördern, vielfältig sind und von verschiedenen Bedingungen abhängen. Einige Kriterien können jedoch verallgemeinert werden.

Unter den identifizierten Faktoren können drei Hauptgruppen unterschieden werden: nutzerbezogene Faktoren, designerbezogene Faktoren und Faktoren, welche mit dem Geodashboard selbst zusammenhängen. Diese Faktoren entsprechen den drei Komponenten der (kartografischen) Kommunikation. Bezüglich der Merkmale gehören sie zu den Faktoren, die sich auf das Geodashboard selbst beziehen.

Die nutzerbezogenen Faktoren umfassen Aspekte, welche direkt mit den Fähigkeiten und Eigenschaften der Nutzer*innen zusammenhängen, wie ihre Kompetenzen, ihre analytische Kapazität, ihre Wahrnehmung und ihre kognitive Verarbeitung, um komplexe Informationen zu erfassen und zu interpretieren. Diese Faktoren beeinflussen direkt, wie effektiv die Nutzer*innen die bereitgestellten Informationen im Geodashboards verstehen und nutzen können. Daher sollten Geodashboards unter Berücksichtigung der Fähigkeiten sowie der Bedürfnisse und Ziele der Nutzer*innen entworfen werden.

Das Verständnis dieser Bedürfnisse und Fähigkeiten der Nutzergruppen durch den Designer ist von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der Effektivität und Benutzerfreundlichkeit der Geodashboards. Eine intuitive und leicht verständliche Gestaltung des Geodashboards ist daher ein wesentlicher Aspekt, um eine effektive Nutzung zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, sollten Designer die begrenzte Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses berücksichtigen sowie Wahrnehmungs- und Kognitionstheorien wie die präattentive oder vorbewusste Verarbeitung visueller Variablen und Gestaltungsprinzipien anwenden. Diese Theorien und Prinzipien ermöglichen es, Informationen klar zu strukturieren und wichtige Daten hervorzuheben. Dies erleichtert es dem Nutzer*innen, auch komplexe Informationen schnell und effizient zu verarbeiten.

Zusätzlich zu den spezifischen Nutzeranforderungen sollten die Designer den spezifischen Anwendungsfall des Geodashboards, die verfügbaren Datenquellen und die technischen Möglichkeiten berücksichtigen. Die vorgenannten Kriterien bestimmen die Art des zu gestaltenden Geodashboards. Je nach Art des Geodashboards und den verfolgten Zielen sind unterschiedliche Merkmale zu berücksichtigen. Daher gibt es keine allgemeingültige Antwort bezüglich der Merkmale, welche die Verständlichkeit und Nutzbarkeit von Geodashboards für verschiedene Nutzergruppen verbessern, die für alle Geodashboards gelten. Allerdings lassen sich allgemeine Merkmale feststellen, welche in allen Fällen berücksichtigt werden können.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine systematische Klassifizierung der Merkmale in fünf identifizierte Komponenten von Geodashboards vorgeschlagen: Daten und Kommunikation, Layout, visuelle Gestaltung, Art der Visualisierungen sowie Interaktivität und funktionale Elemente. Eine hohe Datenqualität und -integrität sind entscheidend für die

Effektivität und Aussagekraft eines Geodashboards. Sie stellen die Grundlage für alle weiteren Komponenten dar und beeinflussen, wie Informationen kommuniziert werden können. Das Layout spielt ebenfalls eine zentrale Rolle bei der Gestaltung effektiver Geodashboards. Es sollte eine intuitive Navigation ermöglichen und gewährleisten, dass die Nutzer*innen wichtige Informationen schnell finden können.

Bei der visuellen Gestaltung sollten Farbgebung, Schriftarten sowie Symbole nicht nur ästhetisch, sondern auch funktional sein, um die Lesbarkeit und Verständlichkeit zu unterstützen. Eine ansprechend visuelle Gestaltung hilft zudem, komplexe Datenstrukturen verständlich zu machen, wichtige Muster hervorzuheben und die Informationsverarbeitung zu erleichtern.

Die Auswahl der richtigen Visualisierungstypen ist entscheidend, um Daten klar und verständlich zu kommunizieren. Verschiedene Nutzergruppen haben unterschiedliche Fähigkeiten und Vorkenntnisse im Umgang mit Visualisierungen, daher müssen diese so gewählt werden, dass sie die Effizienz und Effektivität der Datenanalyse maximieren. Empirische Untersuchungen können ermitteln, welche Visualisierungen in verschiedenen Kontexten am effektivsten sind und wie verschiedene Nutzergruppen auf sie reagieren. Daher wird im zweiten Teil dieser Masterarbeit eine empirische Untersuchung durchgeführt, um festzustellen, ob Karten einen Mehrwert in Geodashboards darstellen.

Bezüglich der Interaktivität und funktionaler Elemente sollten Nutzer*innen die Möglichkeit haben, Daten nach ihren individuellen Bedürfnissen zu filtern und zu analysieren. Interaktive Funktionen wie Drill-down-Optionen und anpassbare Ansichten ermöglichen es den Nutzer*innen, detaillierte Analysen durchzuführen und spezifische Fragen zu beantworten, wodurch die Entscheidungsfindung unterstützt wird.

Die Berücksichtigung dieser Systematisierung in jedem Einzelfall kann dazu beitragen, dass Geodashboards funktional und ästhetisch ansprechend gestaltet werden. Kontinuierliches Feedback und iterative Verbesserungen sind ebenfalls entscheidend für die Effektivität eines Geodashboards.

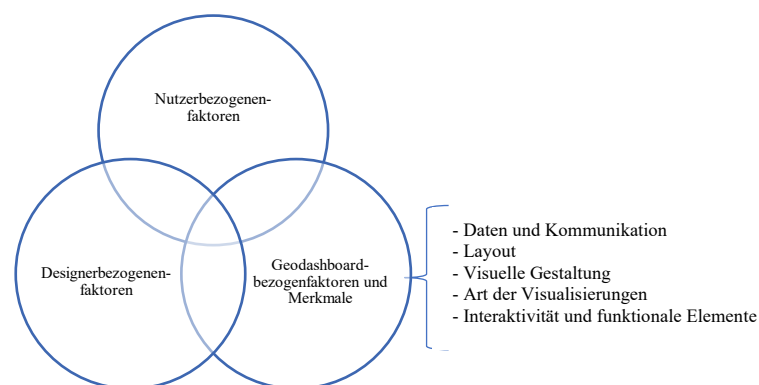


Abbildung 40. Faktoren und Merkmale von verständlichen und effektive Geodashboards
Quelle: Eigene Darstellung

Die Beantwortung der ersten Arbeitsfrage F1 bietet eine solide theoretische Grundlage für das Design von Geodashboards. Im praktischen Teil werden diese Erkenntnisse angewendet, um im Rahmen dieser Arbeit die beiden folgenden Forschungsfragen F2 und F3 zu beantworten.

3 Geodashboards in der Praxis

In diesem Kapitel erfolgt zunächst ein Überblick über das gewählte Thema, nämlich: „Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Dekarbonisierung“. Daraufhin wird die konzeptionelle Gestaltung der Dashboard-Prototypen vorgestellt, wobei zwei Versionen präsentiert werden: eine mit und eine ohne Karte. Des Weiteren werden potenzielle Bewertungsmethoden erörtert, und schließlich erfolgt die Auswertung des Prototyps.

3.1 Use Case Thema: Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Dekarbonisierung

Täglich wird weltweit eine enorme Menge an Energie erzeugt und verbraucht. Diese Energieversorgung ist für den Betrieb der modernen Gesellschaft unerlässlich. Sie wird beispielsweise benötigt für Heizung und Kühlung, Transport und Elektrizität (EEA, 2023c).

Fossile Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas sind seit vielen Jahren die wichtigsten und am meisten genutzten Energiequellen. Von der Gewinnung bis zum Verbrauch dieser Brennstoffe gibt es jedoch eine Reihe von negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit (EEA, 2023b).

Bei der Verbrennung dieser fossilen Brennstoffe werden Treibhausgase emittiert, die zum Klimawandel beitragen. Diese Emissionen verstärken den Treibhauseffekt und tragen zum globalen Temperaturanstieg bei. Zudem entstehen Luftschadstoffe, welche [insbesondere bei Kindern und älteren Menschen] zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Atemwegs- und anderen Problemen führen können (vgl. EEA, 2023b; WHO, 2024). Daher wird weltweit und auf verschiedenen Ebenen, von Regierungen bis hin zu Privatpersonen, die Notwendigkeit Maßnahmen zu treffen diskutiert, um solche negativen Auswirkungen zu minimieren.

Internationale Abkommen wie das Pariser Klimaschutzübereinkommen haben die Dringlichkeit solcher Maßnahmen unterstrichen. *“The Paris Agreement is a legally binding international treaty on climate change. It was adopted by 196 Parties at the UN Climate Change Conference (COP21) in Paris, France, on 12 December 2015. [...]”* (UNFCCC, 2015).

Das Ziel dieses Übereinkommens besteht in der Erreichung einer globalen Anpassung, bei welcher die Entwicklung mit niedrigen Treibhausgasemissionen in Übereinstimmung gebracht wird, ohne die Nahrungsmittelproduktion zu gefährden. Dadurch soll der durchschnittliche globale Temperaturanstieg begrenzt werden. Dieser Temperaturanstieg soll idealerweise auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau und die Durchschnittstemperatur auf mindestens 2 °C unter diesem Niveau begrenzt werden. (vgl. UNFCCC, 2015)

Neben der Ratifizierung des Pariser Abkommens hat sich die EU zum Ziel gesetzt bis 2050 klimaneutral zu werden im Rahmen des europäischen Green Deal vom Jahr 2019. Bis 2030 strebt die EU eine Verringerung der Netto-Treibhausgasemissionen um mindestens 55 %

gegenüber dem Jahr 1990 an (vgl. Europäische Union, 2023). Im Jahr 2021 lagen diese 30% unter dem Niveau von 1990 (EEA, 2023c).

Erneuerbare Energien spielen bei der Erreichung der gesetzten Ziele eine Schlüsselrolle. Diese Arten von Energien stellen eine nachhaltige Alternative zu fossilen Brennstoffen dar und sind zusammen mit Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende. (vgl. BMBF, o.J.) Sie tragen außerdem dazu bei, die Abhängigkeit von Energieimporten zu verringern. *“Russia’s invasion of Ukraine highlighted the impacts of this dependence in fossil fuel imports and price fluctuation [...]”* (EEA, 2023b).

Die EU förderte bereits die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Im Jahr 2009 wurde mit der Einführung der Richtlinie über erneuerbare Energien (RED) das Ziel festgelegt, bis 2020 20 % des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu schaffen. Im Jahr 2018 wurde diese Richtlinie überarbeitet und angepasst (RED II), wobei Ziele für das Jahr 2030 festgelegt wurden, die auf mindestens 32 % abzielen. (vgl. Widuto, 2024)

Im Jahr 2021 wurden die REDs überarbeitet und das Ziel wurde im Rahmen des Europäischen Green Deal durch das 'Fit for 55'-Paket auf 40 % bis 2030 erhöht. Im Jahr 2023 wurden die REDs erneut angepasst und das Ziel für erneuerbare Energien wurde auf ein Minimum von 42,5 % und ein Optimum von 45 % bis 2030 erhöht. Dadurch soll der Prozess der Energiewende beschleunigt werden. (edb.)

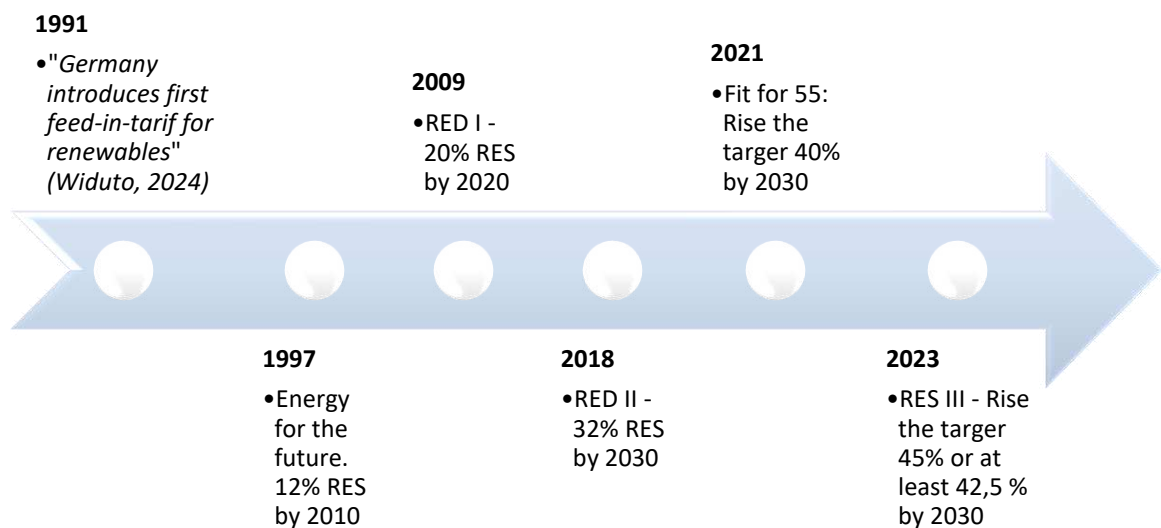


Abbildung 41. Grobe Chronologie der EU- Richtlinien für erneuerbare Energien
Quelle: In Anlehnung an Widuto (2024)

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten in der EU etwa verdoppelt. Im Jahr 2022 lag der Anteil bei 23 %. Die folgende Abbildung zeigt den Anstieg der erneuerbaren Energien über die Jahre und das Ziel für 2030 (42.5%). (vgl. EEA, 2024) (siehe Abbildung 42)

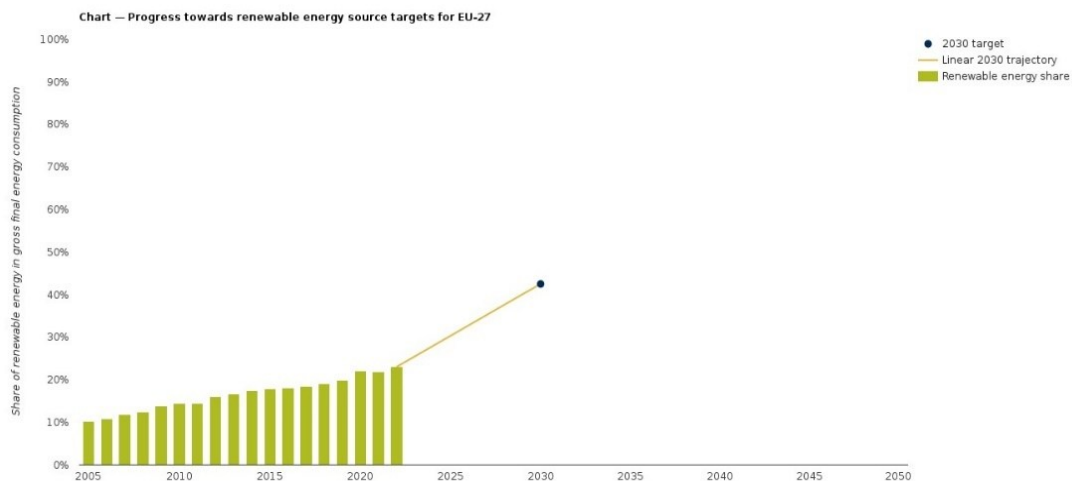


Abbildung 42. „Progress towards renewable energy source targets for EU-27”
Quelle (EEA, 2024)

Durch die zunehmende Nutzung dieser Energiequellen kann die Verwendung fossiler Energieträger vermieden werden, die ansonsten zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt worden wären. Dies trägt ebenfalls zur Vermeidung von Treibhausgasen und anderen Schadstoffen bei. (vgl. EEA, 2023c)

“While not without impact, replacing fossil fuels with renewable energy sources like solar, wind and biomass, helps reduce emissions of greenhouse gases and other pollutants [...]” (EEA, 2023c).

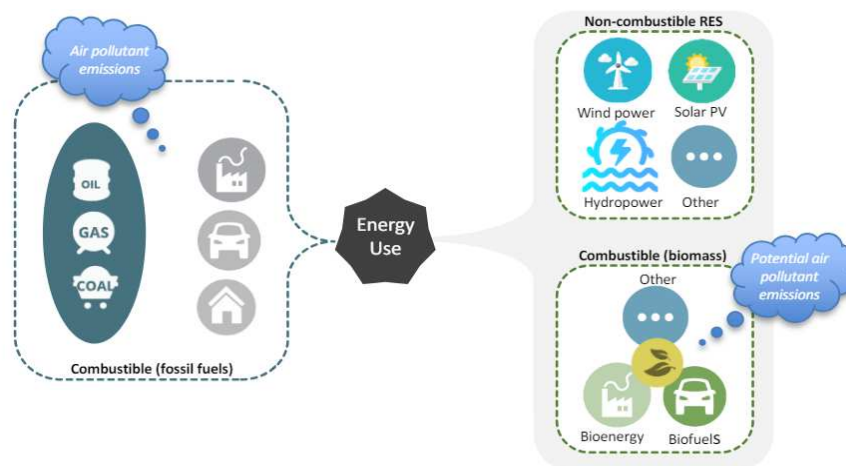


Abbildung 43. Erneuerbare Energien als Alternative zu fossilen Brennstoffen
Quelle: EEA (2019); Moorkens & Dauwe (2019)

Die „European Environment Agency“ (EEA) hat ein Dashboard in Tableau erstellt, welches die geschätzten Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Dekarbonisierung (einschließlich der Nutzung fossiler Brennstoffe und Treibhausgasemissionen) und Luftschadstoffemissionen seit 2005 zeigt (EEA, 2023a) und welches aus mehreren Seiten besteht. *„This dashboard shows estimated annual effects of the increased RES consumption since 2005 on fossil fuels and greenhouse gasses (GHG) and major air pollutant emissions.“* (EEA, 2023a)

Die erste Seite führt in das Thema und den Inhalt des Dashboards ein. Die zweite Seite enthält einen Vergleich der Länder in Bezug auf verschiedene Variablen. Die Variablen können über vier Selektoren ausgewählt werden und werden in drei Balkendiagrammen (zwei davon gestapelt) dargestellt. (siehe Abbildung 44)

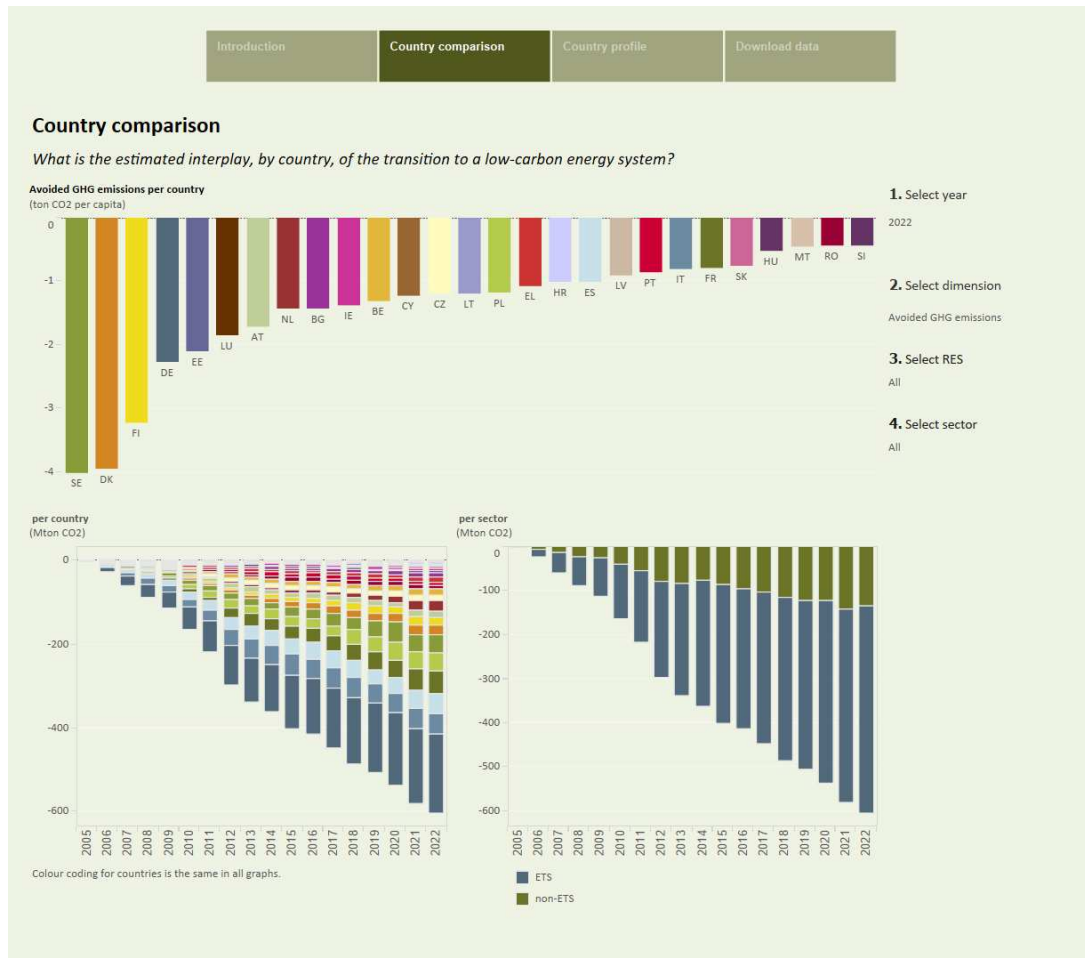


Abbildung 44.. "Impacts of renewable energy use on decarbonisation and air pollutant emissions" Dashboard - Landvergleich
Quelle: (EEA, 2023a)

Mit dem ersten Selektor kann man ein bestimmtes Jahr zwischen 2005 und 2022 auswählen oder die Daten für den gesamten Zeitraum anzeigen lassen.

Der zweite Selektor ermöglicht die Auswahl zwischen verschiedenen Dimensionen. Dies umfasst den Bruttoendverbrauch erneuerbarer Energien pro Land, die Auswirkungen auf die Primärenergieproduktion, sowie die Vermeidung von: dem Primärverbrauch fossiler Brennstoffe, dem Verbrauch von Treibhausgasen und den Emissionen von fünf Luftschadstoffen einschließlich Stickoxide (NO_x) (Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2)), 2,5 μm Feinstaub ($\text{PM}_{2.5}$), 10 μm Feinstaub (PM_{10}), Schwefeldioxid (SO_2) und flüchtige organische Verbindungen auf Englisch „volatile organic compounds“ (VOC)). (vgl. EEA, 2023a)

Über den dritten Selektor lässt sich die Art der erneuerbaren Energie auswählen und über den letzten können die drei Energiemarktsektoren, nämlich Elektrizität, Heizung und Kühlung und Transport, ausgewählt werden.

Im ersten Balkendiagramm auf der zweiten Seite werden *per capita* Einheiten verwendet, um den Vergleich von Werten zwischen Ländern zu ermöglichen. Dieser Ansatz ist grundlegend für die Erstellung von Choropleth-Karten in den Geodashboard-Prototypen.

Die Werte für den vermiedenen Verbrauch fossiler Brennstoffe pro Land, den Einfluss auf die Primärenergieproduktion und den Anteil erneuerbarer Energien pro Land werden in toe (Tonnen Öläquivalent) pro Kopf angegeben. Die vermiedenen Treibhausgasemissionen in Tonnen Kohlendioxid (CO₂) pro Kopf und die Luftschadstoffe in Kilogramm pro Kopf.

In den Balkendiagrammen zwei (pro Land und Jahr) und drei (pro Sektor und Jahr) werden die Werte in ktoe (Kilotonnen Öläquivalent) bzw. Mton CO₂ und kt (Kilotonnes) dargestellt.

Auf der dritten Seite wird das "Länderprofil" mit länderspezifischen Informationen dargestellt. Die Variablen und Auswahlmöglichkeiten in diesem Abschnitt sind dieselben wie auf Seite zwei des Dashboards. Wobei hier der Anteil an erneuerbaren Energien dargestellt wird. (siehe Abbildung 45)

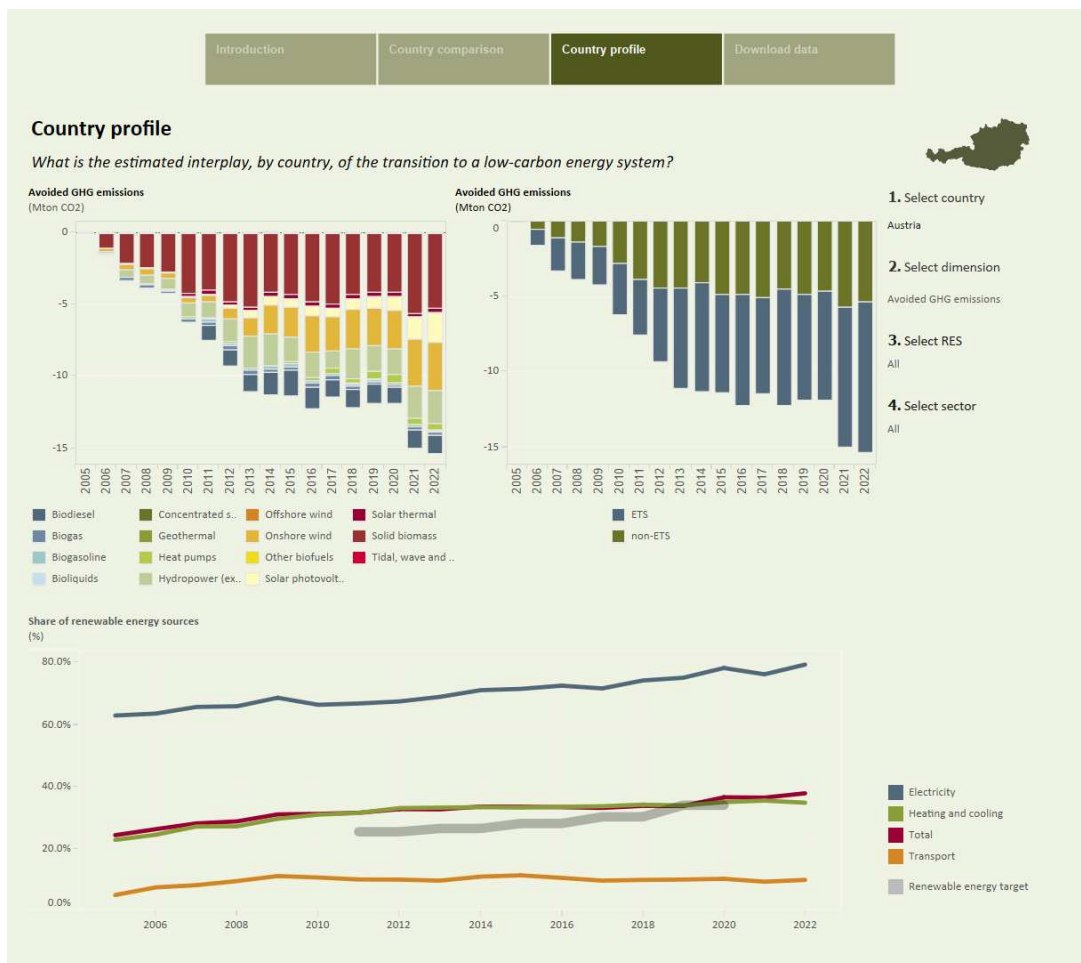


Abbildung 45. "Impacts of renewable energy use on decarbonisation and air pollutant emissions" Dashboard - Landprofil
Quelle: (EEA, 2023a)

Die Methode zur Abschätzung der Auswirkungen erneuerbarer Energien auf die vermiedenen Treibhausgasemissionen basiert auf der dreistufigen Methode von Eurostat, welche im EEA-Report (2015) *„Renewable energy in Europe - Approximated recent growth and knock-on effects“* vorgestellt wurde. (vgl. Moorkens & Dauwe, 2019)

Im ersten Schritt wird berechnet, wie viel erneuerbare Energie pro Jahr in jedem Land, Sektor (z.B. Elektrizität, Verkehr, Heizung und Kühlung) und Technologie (z.B. Hydro-, Wind-, Solar Power usw.) verbraucht wird (vgl. EEA, 2015:40; Moorkens & Dauwe, 2019).

Der zweite Schritt besteht aus zwei Unterschritten. Zunächst werden die Referenzemissionsfaktoren der ursprünglichen Energieträger (Elektrizität, Heizung und Verkehr) bestimmt. Auf diese Weise lässt sich eine äquivalente Menge an Energie aus konventionellen Quellen bestimmen, die durch eine entsprechende Menge an erneuerbarer Energie ersetzt wird. Beispielsweise im Verkehrssektorbeträgt das Verhältnis eins zu eins. Erneuerbare Energieträger, wie Biodiesel und Bioethanol, ersetzen direkt konventionelle Energieträger, wie Benzin und Diesel. (ebd.)

Für die anderen Sektoren sind die Berechnungen komplizierter. Für die Heizung und Elektrizitätserzeugung sind die Prozesse ähnlich, zum Beispiel *„For electricity production, the reference emission factor is a generation-weighted average emission factor [...]“*. (EEA, 2015:10)

Im dem zweiten Subschritt werden die vermiedenen Brutto-Treibhausgasemissionen pro Land und Jahr berechnet, dies wird gegenüber einem „counterfactual scenario“ [what if scenario] gemacht. In diesem Fall *„'2005-RES shares' counterfactual scenario“*. (ebd.)

„This counterfactual determines the GHG effects for the renewable energy that was added to the energy mix after the year 2005 (for RES-E, RES-H and RES-T individually).“ (vgl. EEA, 2015:44; Moorkens & Dauwe, 2019)

Im letzten Schritt werden die Auswirkungen der Treibhausgasemissionen nach ETL- und Nicht-ETL-Sektoren ("Emissionshandelssystem") klassifiziert. Für Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen (RES-E) werden alle Effekte den ETL-Sektoren zugeordnet, für Verkehr (RES-T) werden alle den Nicht-ETL-Sektoren zugeordnet und für Wärme (RES-H) wird eine technologie- und länderspezifische Zuordnung vorgenommen. (vgl. EEA, 2015:40; Moorkens & Dauwe, 2019:10f.) (siehe Abbildung 46)

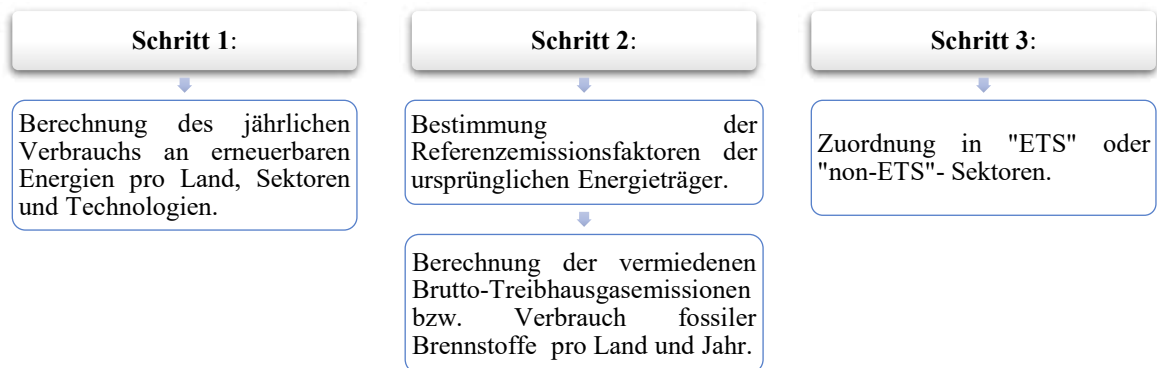


Abbildung 46. Die Methode zur Abschätzung der Auswirkungen erneuerbarer Energien auf die vermiedenen Treibhausgasemissionen

Quelle: In Anlehnung an EEA (2015:40); Moorkens und Dauwe, (2019:10f.)

Das EU ETS basiert auf einem System, in dem sogenannte Caps gehandelt werden. Caps sind eine Art Bonus, der den Ausstoß einer bestimmten Menge an Treibhausgasen erlaubt. (vgl. European Commission, o.J.)

“The cap is expressed in emission allowances, where one allowance gives the right to emit one tonne of CO₂eq (carbon dioxide equivalent)” (European Commission, o.J.)

Die Unternehmen erhalten eine festgelegte Anzahl an Caps und haben die Möglichkeit, zusätzliche Caps zu kaufen und zu verkaufen. Der genehmigte Betrag wird schrittweise reduziert, um die Vorschriften einzuhalten und die festgelegten Ziele zu erreichen. (vgl. European Commission, o.J.)

Die Methode zur Abschätzung der vermiedenen Luftschadstoffe und des Verbrauchs fossiler Brennstoffe basiert auf derselben Methode wie die zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen. Für letztere wird im Schritt 2 spezifisch die notwendige Gleichwertigkeit für die Ersetzung einer Energieeinheit aus den verschiedenen Arten von fossilen Brennstoffen durch eine erneuerbare Energieeinheit berechnet. (vgl. EEA, 2015:49)

3.2 Teil I – Dashboards Prototypen

In Anlehnung an das zuvor beschriebene Dashboard werden zwei Prototypen von Geodashboards erstellt, wobei eines eine Karte und das andere keine Karte beinhaltet. Der Prozess der Erstellung dieser Prototypen wird im Folgenden beschrieben.

3.2.1 Prototype Erstellung

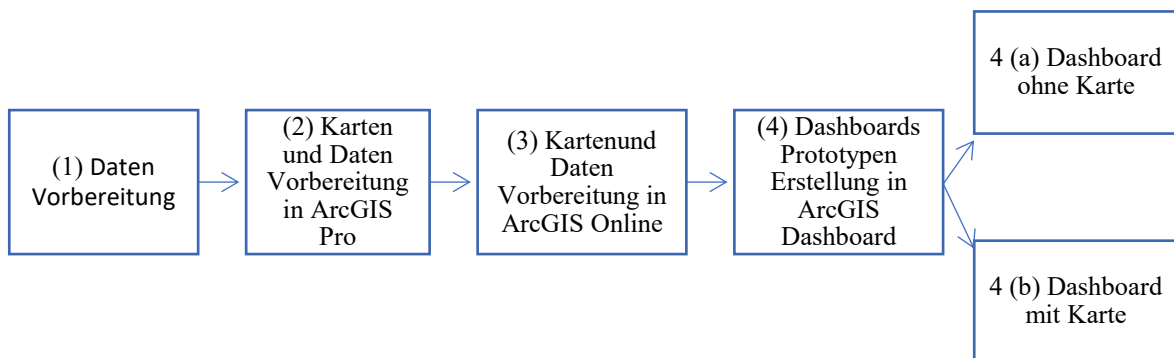


Abbildung 47. Erstellungsablauf des Prototypen
Quelle: Eigene Darstellung

(1) Daten Vorbereitung

Die Erstellung von Prototypen in ArcGIS-Dashboards erfordert zunächst die Vorbereitung der Daten. Die Daten wurden im Excel-Format direkt vom EEA-Dashboard heruntergeladen.

Für jedes Diagramm und jedes Land wurden die verfügbaren Informationen aus den jeweiligen Quellen heruntergeladen. Der Prozess wurde mithilfe von Makros automatisiert.

Die Daten über den Verbrauch erneuerbarer Energien, den vermiedenen Verbrauch fossiler Brennstoffe und die Treibhausgasemissionen pro Land und Jahr wurden in einer einzigen Excel-Tabelle zusammengefasst. Der Anteil der erneuerbaren Energien nach Sektoren wurde in einer eigenen Tabelle hinzugefügt.

(2) Daten und Karten Vorbereitung in ArcGIS Pro

Der Import der Excel-Dateien, welche die Daten enthalten, erfolgt mittels des Tools „Excel to Table“ in ArcGIS Pro.

Zum anderen wird die von Eurostat bereitgestellte Gebietsklassifikation NUTS (Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques) verwendet, um den oben genannten Daten räumliche Informationen hinzuzufügen.

Die Tools „Join“ und „Relationship“ werden verwendet, um die Daten der Tabelle mit den NUTS-Geodaten zu verknüpfen. Auf diese Weise kann eine Verknüpfung der Daten mit den entsprechenden Gebietseinheiten auf der Karte erfolgen.

Im Anschluss an die Erstellung der Layer in ArcGIS Pro und die Anwendung der entsprechenden Symbolisierung erfolgt der Export der Layer in ArcGIS Online.

(3) Daten und Karten Vorbereitung in ArcGIS Online

Im nächsten Schritt erfolgt für den Prototyp mit Karten, die Erstellung der Karten sowie die Einstellung der Labels und Pop-ups, welche anschließend in ArcGIS-Dashboards integriert werden.

(4) ArcGIS Dashboards

Bei der Erstellung der Dashboard Prototypen wurden die Erkenntnisse aus der Fachliteratur berücksichtigt. Im Folgenden werden die allgemeinen Merkmale und Elemente, die in die Konzeption der beiden Prototypen einbezogen wurden, kurz beschrieben. Im Anschluss erfolgt eine Beschreibung jedes Dashboards. (siehe Tabelle 4)

Komponenten	Beschreibung
Kommunikation und Datenauswahl	<p><u>Daten:</u> Die Prototypen des Geodashboards basieren auf dem bereits beschriebenen Geodashboard, aus dem die Daten extrahiert wurden. Es handelt sich um ein öffentliches Geodashboard, welches die Auswirkungen des Verbrauchs erneuerbarer Energien seit 2005 auf die Nutzung fossiler Brennstoffe sowie die Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen visualisiert. In den vorliegenden Prototypen werden lediglich die ersten drei Variablen berücksichtigt.</p> <p>Zunächst werden die allgemeinen Daten für alle Länder für das letzte verfügbare Jahr (2022) angezeigt, aber das Dashboard ermöglicht es, detaillierte Daten für andere Jahre oder pro Land nach Bedarf abzurufen.</p> <p><u>Zielnutzer*innen:</u> Da weder eine Beschreibung der Zielnutzer*innen noch eine Erläuterung des Zwecks des Dashboards vorliegt, kann implizit davon ausgegangen werden, dass es sich sowohl an Expert*innen auf dem Gebiet als auch an die interessierte Öffentlichkeit richtet. Mögliche Nutzer*innen der Dashboard Prototypen wären:</p>

Komponenten	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> • Entscheidungsträger*innen können das Geodashboard nutzen, um die Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf den Dekarbonisierungsprozess besser zu verstehen, so dass fundiertere Entscheidungen getroffen und spezifische Strategien entwickelt werden können. • Umweltorganisationen können das Geodashboard verwenden, um ihre Initiativen zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien zu unterstützen. • Das Geodashboard erlaubt Energieunternehmen, die Fortschritte der Energiewende zu evaluieren, ihre Geschäftspläne anzupassen und künftige Investitionen zu planen. • *innen und Akademiker*innen können das Geodashboard und die Daten für Analysen und wissenschaftliche Studien über erneuerbare Energien und deren Auswirkungen nutzen und so neue Erkenntnisse gewinnen. • Das Geodashboard stellt der allgemeinen Öffentlichkeit Informationen zu den Vorteilen erneuerbarer Energien zur Verfügung. Es fördert das Bewusstsein und das Verständnis für nachhaltige Energiequellen und trägt somit zu einer stärkeren Unterstützung der Energiewende bei. <p><u>Zweck:</u> Die Intention der vorliegenden Prototypen besteht darin, den Nutzern zu verdeutlichen, welche Effekte die Verwendung erneuerbarer Energien auf den Prozess der Dekarbonisierung hat.</p> <p><u>Aufgaben:</u> In Abschnitt 3.3.3 erfolgt die Beschreibung der Aufgaben, die mit diesem Dashboard durchgeführt werden sollen.</p>
Dashboard-Layout	<p>Beide Prototypen werden auf einem einzigen Bildschirm dargestellt.</p> <p>Die Geodashboard-Prototypen bestehen aus Panels, die jeweils ähnliche Elemente enthalten, die nahe beieinander liegen, aber visuell getrennt sind, um ein intuitives Verständnis der Daten zu unterstützen.</p> <p>Die Hauptvariable, nämlich der Verbrauch erneuerbarer Energien, wurde auf der linken Seite platziert und stellt das größte und auffälligste Element im Dashboard mit Karte dar. Diese Variable veranschaulicht die Wirkung der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien als Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels und zur Verringerung der Abhängigkeit von nicht nachhaltigen Energiequellen.</p> <p>Die Prototypen verfügen zudem über eine Seitenleiste, welche die Kartenlegenden und allgemeinen Hinweise beinhaltet. Diese können bei Bedarf angezeigt werden.</p>
visuelle Darstellung /Design	<p>Bei der Erstellung sowohl der Karten als auch der Dashboard Prototypen werden diverse visuelle Variablen eingesetzt, um die Daten in einer klar verständlichen Form zu präsentieren.</p> <p>Im Fall des Prototyps mit Karten wurden drei Choroplethenkarten für die Darstellung von drei verschiedenen Variablen verwendet. Die Assoziation jeder Variable mit einer spezifischen Farbe wird im Folgenden beschrieben:</p>

Komponenten	Beschreibung
	<p>Der Verbrauch erneuerbarer Energie wird durch die Verwendung von Grüntönen visualisiert. Die dunklen Töne repräsentieren höhere Werte, während die helleren Töne für niedrigere Werte stehen.</p> <p>Bei der Vermeidung des Verbrauchs fossiler Energie (Petrolblau) und der Vermeidung von Treibhausgasemissionen (Orange) entspricht eine höhere vermiedene Menge einem stärkeren Farbton.</p> <p>Zur Verbesserung der Lesbarkeit der Referenznamen der Länder wurde zudem auf die Verwendung von Transparenz zurückgegriffen.</p> <p>Die Farbcodes sind in beiden Prototypen einheitlich. Für alle Balkendiagramme sind die Länderfarben identisch, damit die Benutzer sie zuordnen können.</p> <p>Die Karten enthalten zudem Beschriftungen in Form von Zahlen, welche die Werte der entsprechenden Variablen pro Land in jedem Jahr darstellen. Die Werte werden entsprechend der Filterung der Daten nach Jahr angepasst.</p>
Visualisierungen	<p>Für den Prototyp (a) (mit Karte) wurden drei verschiedene Visualisierungsformen eingesetzt, nämlich Karten, Indikatoren und Balkendiagramme. Zusätzliche Informationen können in Pop-ups gefunden werden. Die Karten ermöglichen nicht nur die Visualisierung von Daten und dienen als Suchwerkzeug, sondern erlauben zudem den Vergleich von räumlich-zeitlichen Trends, die interaktive Navigation sowie die Datenfilterung und -analyse für die Erkundung und Analyse von geografischen Informationen in Bezug auf die Auswirkungen von erneuerbaren Energien auf die Dekarbonisierung.</p> <p>Für den Prototyp (b) wurden ausschließlich Indikatoren und Balkendiagramme verwendet. Die genannten Visualisierungen unterstützen den Vergleich der Daten pro Land und pro Jahr.</p>
Interaktivität und funktionale Elemente	<p>Beide Prototypen sind interaktiv gestaltet und ermöglichen es, je nach Bedarf Informationen abzurufen.</p> <p>In beiden Prototypen erfolgt zudem eine Synchronisation aller Elemente (Multiple Linked View).</p> <p>Bei der Selektion eines Jahres werden lediglich die Informationen dieses Jahres in den anderen Elementen angezeigt, dies gilt ebenso für die Selektion eines Landes.</p> <p>Interaktive Elemente wie Tooltips beim Hovering sind ebenfalls integriert, um die Datenexploration zu erleichtern.</p>

*Tabelle 4. Komponenten und Eigenschaften der eigenen Prototypen
Quelle: Eigene Darstellung*

➤ (a) Dashboard mit Karte

Es handelt sich um ein interaktives Geodashboard mit koordinierten Ansichten, das aus fünf Hauptpanelen besteht. Jede dieser Panels enthält unterschiedliche Komponenten. (Abbildung 48)

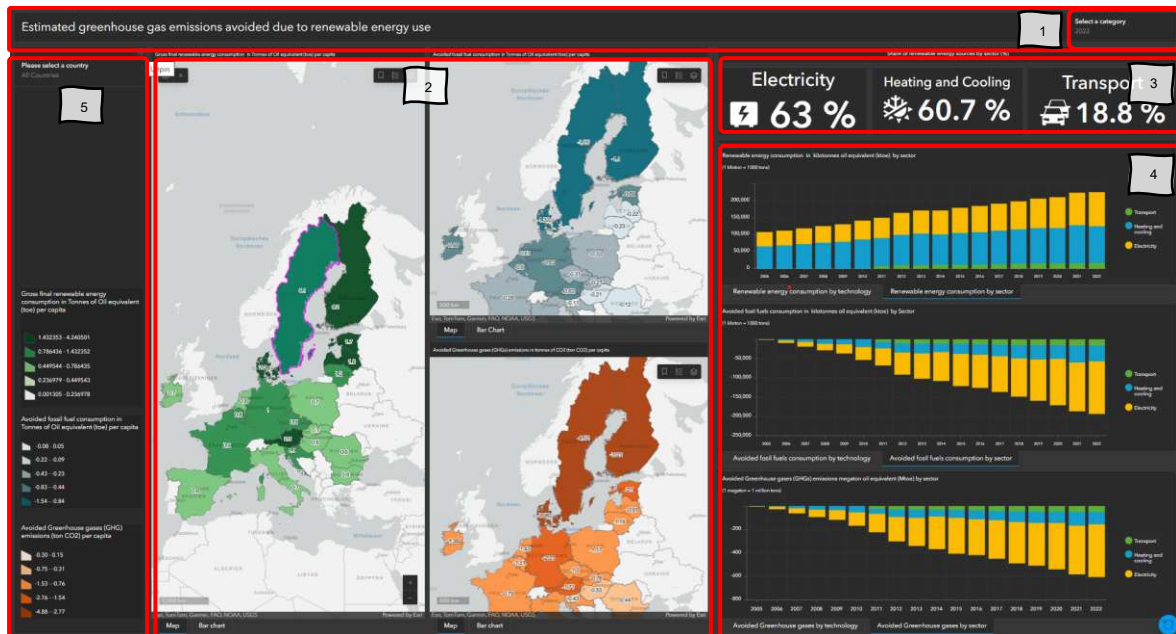


Abbildung 48. Dashboard Prototyp mit integrierten Karten
Quelle: Eigene Darstellung. (Im Software ArcGIS Dashboard)

Im ersten Panel (Kopfzeile) sind der Titel (a) sowie zwei Selektoren, nämlich ein Jahr und ein Land Selektor (b) zu finden. Die Auswahl eines Jahres oder eines Landes in dem Dropdown-Menü Selektor dient der Filterung der Daten, welche im Balkendiagramm, den Karten und den Indikatoren angezeigt werden.

Im zweiten Panel sind die Karten (c) zu finden für drei Variablen: den Verbrauch an erneuerbaren Energien (t RÖE pro Kopf) (c1), den vermiedenen fossilen Energieverbrauch (t RÖE pro Kopf) (c2) sowie die vermiedenen Treibhausgasemissionen (Tonnen CO₂ pro Kopf) (c3).

Tonne(n) Rohöleinheiten (t RÖE) auf Englisch „Tonne(s) of oil equivalent (toe)“: „[...] ist eine normierte Maßeinheit der Energie, die vereinbarungsgemäß etwa der Energiemenge entspricht, die aus einer Tonne Rohöl gewonnen werden kann.“ (Eurostat - European Commission, 2018) Damit lässt sich der Energiegehalt verschiedener Energieträger vergleichen. (Eurostat - European Commission, 2018)

Die Karten sind synchronisiert, was bedeutet, dass beim Zoomen in eine Karte auch die anderen Karten gezoomt werden. Ebenso werden Labels nach der Auswahl des Jahres oder des Landes angezeigt.

In diesem Panel sind ebenfalls drei Balkendiagramme zu finden, welche die gleichen Informationen wie die Karten präsentieren, so dass die Testnutzer die Auswahl haben welchen Visualisierungstyp sie bevorzugen.

Das dritte Panel beinhaltet vier Indikatoren. Die dargestellten Werte entsprechen dem gesamten Anteil der erneuerbaren Energieträger sowie dem Anteil nach Sektoren, nämlich Elektrizität, Heizung und Kühlung sowie Transport in Prozent.

Das vierte Panel beinhaltet sechs Balkendiagramme, welche die Daten jeder Variablen in Bezug auf die Technologie und den Sektor darstellen.

Das fünfte und letzte Panel stellt eine ausklappbare „Sidebar“ dar, welche die Legende der Karten beinhaltet.

➤ (b) Dashboard ohne Karte

Das Geodashboard ohne Karte besteht aus denselben Elementen wie das oben beschriebene Dashboard, allerdings ohne das Panel 2 (Karten). (siehe Abbildung 49)



Abbildung 49. Geodashboard- Prototyp ohne Karten.
Quelle: Eigene Darstellung. (Im Software ArcGIS Dashboard)

3.3 Teil II - Gestaltung des Evaluierungsplans

3.3.1 Auswertungsmethoden

In der Literatur werden verschiedenen Methoden zur Bewertung von Visualisierungswerkzeugen beschrieben und welche oft kombiniert verwendet werden.

Fredriksson Häagg et al. (2020), Häagg, (2020) und Yalçin et al., (2018) haben zum Beispiel die 'Insight-based Methodology' angewendet. Bei dieser Methode erkunden die Nutzer*innen das Geodashboard frei, ohne spezifische Aufgaben zu erhalten. Anschließend werden die Ergebnisse mithilfe des Think-Aloud-Protokolls gesammelt und kodifiziert, was qualitative und quantitative Analysen ermöglicht. (vgl. North, 2006)

Um die Gestaltungsmerkmale ihrer Geodashboard zu bewerten, insbesondere die Positionierung von Erklärungselementen wie der Legende, führten zunächst Gołębiowska et al. (2023) eine halbstrukturierte Expert*innenbefragung durch, gefolgt von einem kontrollierten Experiment und Eye-Tracking. Horita et al., (2014) konnten ihr Dashboard in realen Hochwasserereignissen testen. Zuo et al. (2020) evaluieren ihr Dashboard durch Benchmarking und Eye-Tracking, Zuo et al. (2021) durch Interviews in Kombination mit Eye-Tracking.

Zur Bewertung von Visualisierungen werden auch heuristische Bewertungen und Nutzerstudien verwendet. Die heuristische Bewertung konzentriert sich auf die Bewertung von Visualisierungen durch Experten, während die Nutzerstudie auf die Bewertung durch Zielnutzer ausgerichtet ist. Bei der letztgenannten Methode wird üblicherweise ein aufgabenorientierter oder „Task Based“ Ansatz verwendet. Dieser wird anhand der Zeit, die Benutzer für die Erledigung einer Aufgabe benötigen, der Fehlerquote und der Benutzerzufriedenheit gemessen. (vgl. Zhu, 2007)

“User studies are commonly used to evaluate various types of cartographic visualizations”
(Zuo et al., 2020)

Zhu (2007:654ff.) schlägt drei Parameter zur Bewertung der von ihm so genannten Effektivität der Datenvisualisierung vor, nämlich Genauigkeit, Nützlichkeit und Effizienz und erwähnt für jeden dieser Parameter qualitative und quantitative Messungen. (siehe Abbildung 50)

	<i>Quantitative measurements</i>	<i>Qualitative measurements</i>
Accuracy	<ul style="list-style-type: none"> • Measure the number of interpretation errors 	<ul style="list-style-type: none"> • Interview • Observation • Expert-novice comparison
Utility	<ul style="list-style-type: none"> • Measure the number of achieved benchmark goals • Record the number of times a visualization design is selected by users to conduct a task 	<ul style="list-style-type: none"> • Interview • Observation • Expert-novice comparison
Efficiency	<ul style="list-style-type: none"> • Record task completion time • Record eye movements • Measure the learning curve 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualization complexity analysis • Interview • Observation • Expert-novice comparison

Abbildung 50. Qualitative und Quantitative Messungen zur Visualisierungen Evaluierung nach Zhu (2007)
Quelle: Zhu (2007:658)

Bleisch und Dykes (2015) bewerten die Effizienz und Effektivität der Aufgabenerfüllung durch Interaktion mit 2D- und 3D-Geovisualisierungen. Sie analysieren, wie diese Visualisierungen die Leistung und Genauigkeit der Nutzer beeinflussen. Diesen Ansatz bezeichnen Coltekin et al. (2015) als "Performance-Ansatz".

Die vorgeschlagenen Metriken von Zhu (2007:654ff.) und die Performance Metriken von Bleisch und Dykes (2015) um (Geo-)Visualisierungen zu bewerten ähneln denen der Benutzerfreundlichkeit oder „Usability“, welche in der Norm ISO 9241-2018 „Ergonomics of human-system Interaction“ der Internationale Organisation für Normung (ISO) beschrieben werden, nämlich Effektivität, Effizienz und Benutzerzufriedenheit. (siehe Abbildung 51)

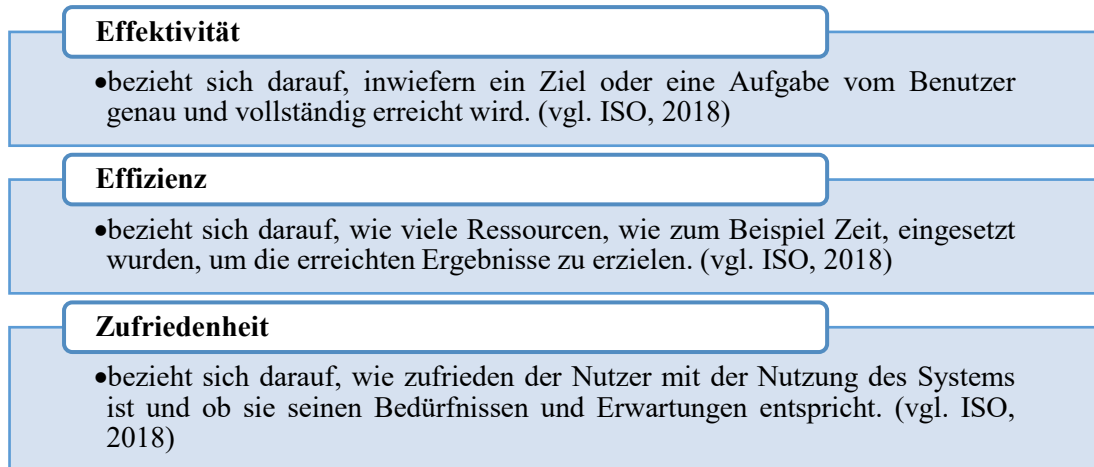


Abbildung 51 Usability Metriken nach ISO 9241-2018
Quelle: (ISO, 2018)

In dieser Arbeit wird ein aufgabenorientierter („Task-Based“) Ansatz verwendet, um die Performance bei der Erledigung von Aufgaben mit zwei Geodashboard-Prototypen (einer mit und einer ohne Karte) zu bewerten. Dabei werden die Metriken Effizienz und Effektivität zur Bewertung der Nutzerleistung herangezogen.

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich nicht mit der allgemeinen Benutzerfreundlichkeit des Systems, sondern mit den Auswirkungen eines bestimmten Bestandteils, nämlich der Wahrnehmung von Karten. Eine Bewertung der allgemeinen Benutzerfreundlichkeit könnte jedoch ein künftiger Schritt oder ein Thema für weitere Studien sein.

Zusätzlich wird eine Umfrage verwendet, um das Feedback und die Meinung der Nutzer bezüglich der Integration von Karten in Geodashboards sowie die subjektive Präferenz der Testpersonen zu bestimmen. (siehe Tabelle 5)

	Methode	Messung	Bewertung
Effizienz	-Task-basierter Ansatz -Fragenbogen.	- Zeit zur Aufgabenerfüllung. - Anzahl der Klicks.	Vergleich der Zeiten mit und ohne Karte. Vergleich der Anzahl der Klicks.
Effektivität	Task-basierter Ansatz - Fragenbogen.	- Korrektheit der Antworten. - Anzahl der abgeschlossenen Aufgaben. - Anzahl der korrekt abgeschlossenen Aufgaben.	Vergleich der korrekt abgeschlossenen Aufgaben.
Subjektive Nutzer Präferenz	- Post Test Umfrage	- Nutzer Präferenzen Umfrage	Subjektive Bewertung.

Tabelle 5. Messungen der Effizienz, Effektivität und Nutzerpräferenz in den eigens erstellten Prototypen
Quelle: Eigene Darstellung

Diese Ergebnisse werden miteinander verglichen, um festzustellen, ob die Karten einen Mehrwert bieten. Dies dient dazu, die in dieser Arbeit aufgestellte Hypothese zu überprüfen und die Forschungsfrage zu beantworten.

3.3.2 Testnutzer

Nielsen (1994:155ff.) empfiehlt bei der heuristischen Bewertung eine Mindestteilnehmerzahl von drei Personen hinsichtlich der erforderlichen Nutzeranzahl. Eine Teilnahme von fünf oder mehr Personen ist jedoch angemessen. (siehe Abbildung 52. Bestimmung der Anzahl an Testnutzern in heuristischen Evaluierungen nach Nielsen (1994))

Für Nutzerstudien erklärt Nielsen (1994), dass für ein Konfidenzniveau von 90% etwa 13 Nutzer benötigt werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. In vielen Projekten reichen jedoch bereits 5 Expertennutzer aus.

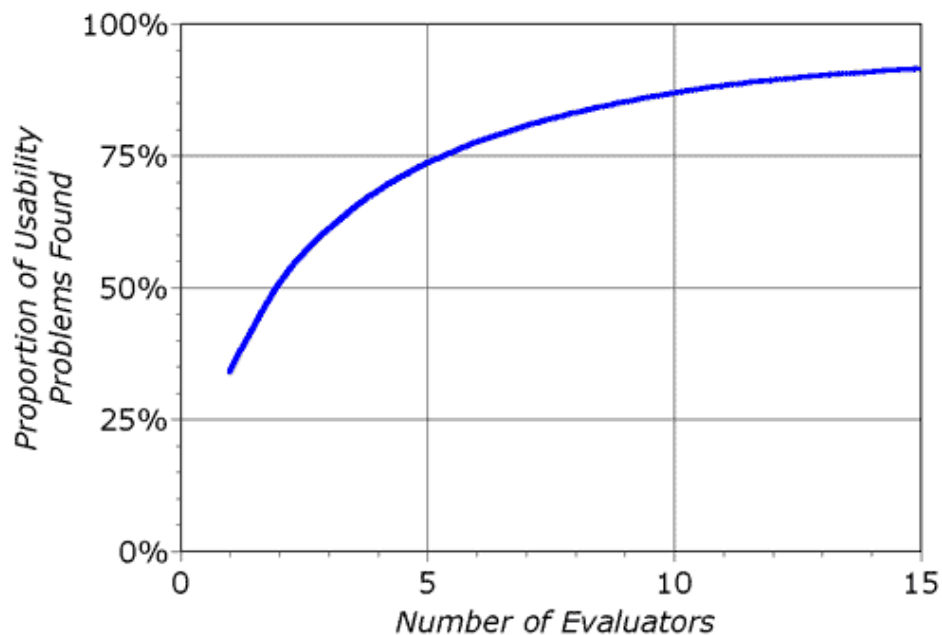


Abbildung 52. Bestimmung der Anzahl an Testnutzern in heuristischen Evaluierungen nach Nielsen (1994)
Quelle: (Nielsen, 1994b)

Nielsen (1994:174f.) betont ebenfalls die Bedeutung von Pilot Tests, um die experimentellen Verfahren zu verfeinern und valide Ergebnisse zu erzielen. Im Rahmen dieser Masterarbeit werden Pilot Tests durchgeführt, bevor die "echten" Tests stattfinden, um mögliche Verbesserungen zu identifizieren und umzusetzen. Dies gewährleistet, dass die nachfolgenden Tests unter möglichst optimalen Bedingungen durchgeführt werden und die gewonnenen Erkenntnisse valide und repräsentativ sind.

Im Rahmen dieser Masterarbeit ist die Beteiligung von 15 Testnutzern vorgesehen. Diese werden in drei Gruppen eingeteilt: (1) Benutzer ohne Erfahrung mit GIS oder dem Thema, (2) Benutzer mit Erfahrung in GIS und (3) Benutzer mit Kenntnissen zum ausgewählten Thema.

3.3.3 Testaufgaben

In der Literatur finden sich diverse Taxonomien von Aufgaben im Kontext von Visuellen Analytics und Datenexploration, welche sich auf die Aktionen von Benutzern bei der Interaktion mit Datenvisualisierungen beziehen. Die genannten Aufgaben dienen der Erkundung, Analyse und Extraktion von Informationen. (vgl. Nazemi & Burkhardt, 2019)

Roth (2013) präsentiert eine funktionale Taxonomie von Interaktionsprimitiven für kartenbasierte Visualisierungen. Diese umfasst die Aufgaben, welche die Nutzer ausführen wollen (Ziele), die spezifischen Aktionen, die zur Ausführung dieser Aufgaben verwendet werden (Operatoren) sowie die Interaktionen oder Aspekte, welche die Nutzer erkunden (Raum, Attribute im Raum und Raum in der Zeit; elementar und allgemein) (Operanden).

Die fünf vorgestellten Ziele, von denen jedes an kognitiver Komplexität zunimmt, sind:

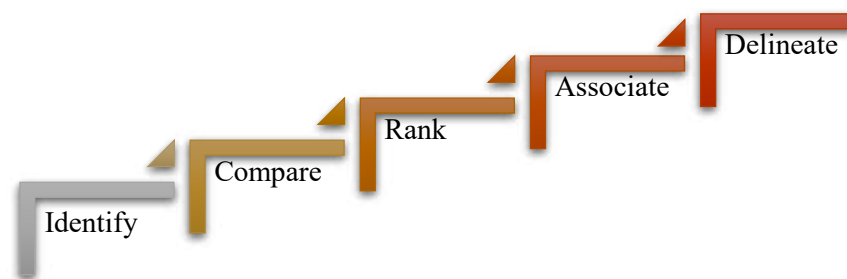


Abbildung 53. Ziele in der Taxonomie nach Roth (2013)
Quelle: Roth (2013)

Roth & MacEachren (2016) fassen jedes Ziel wie folgen zusammen:

- Identifizieren bezieht sich auf die Untersuchung eines einzelnen Elements
- Vergleichen entspricht der Gegenüberstellung von zwei oder mehr Elementen.
- Rangfolge (Rank) beschreibt die Reihenfolge oder Position zweier oder mehr zueinanderstehender Elemente.
- Assoziieren bezieht sich auf die Zusammenhänge zwischen zwei oder mehr Elementen.
- Abgrenzen bedeutet in diesem Fall Elemente kategorisieren oder gruppieren.

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden die ersten vier vorgeschlagenen Aufgaben von Roth berücksichtigt, da in diesem spezifischen Kontext das Abgrenzen nicht als eine Aufgabe betrachtet wird, welche Benutzer in einem realen Anwendungsszenario in der Regel durchführen würden. Zur Definition der Aufgaben werden ebenfalls ähnliche Studien herangezogen, in denen Testpersonen verschiedene Aufgaben erfüllen sollten. Beispielsweise sind dies die Studie von Rahman (2017), in welcher ein Dashboard für temporale Origin-Destination-Daten getestet wird, die Studie von Zuo et al. (2020), welche die Auswirkungen von Dashboards auf Nutzer untersucht und evaluiert, ob diese den Informationsbedarf und die Erwartungen der Zielnutzer erfüllen, sowie die Studie von Zuo et al. (2021), welche die Lesestrategien der Nutzer von kartenbasierten Dashboards bewertet.

Folgende Aufgabenstellungen wurden definiert, die von den Testpersonen bei der Interaktion mit den beiden entworfenen Prototypen zu erfüllen sind. (siehe Tabelle 6)

#	Task	Task type	Answer
1a	Which country has the highest gross final renewable energy consumption <i>per capita</i> in all years (2005 to 2022)?	Identify	Sweden
1b	Which country has the highest fossil fuel consumption avoided <i>per capita</i> in all years (2005 to 2022)?	Identify	Sweden
2a	What was the share of renewable energy sources (RES) in the electricity sector in Finland in 2015?	Identify	32.2%
2b	What percentage of the total energy consumed in Greece in 2020 was generated from renewable energies?	Identify	21,7%
3a	Compare the Avoided Greenhouse gases emissions <i>per capita</i> between Northern and Southern European countries. Which region tends to have higher values?	Compare	Northern Countries
3b	Compare the renewable energy consumption <i>per capita</i> between Western and Eastern European countries. Which region tends to have higher values?	Compare	Western Countries
4a	Which renewable energy technologies contributed the most to reducing fossil fuel consumption (<i>kilotonnes of oil equivalent (ktoe)</i>) in Austria's electricity sector in 2021? (Please rank the top three sources from greatest to smallest impact)	Rank	1 Onshore Wind 2 Hydropower 3 Solar Photovoltaic
4b	Which renewable energy technologies contributed the most to reducing Greenhouse Gases Emissions (<i>megaton oil equivalent (Mtoe)</i>) in Austria's heating and cooling sector in 2020? (Please rank the top three sources from greatest to least impact)	Rank	1 Solid biomass 2 Heat pump 3 Solar Thermal
5a	How does the consumption of renewable energy correlate with the reduction in fossil fuel use?	Associate/ correlate	Correlates positively. The more renewable energy is consumed, the more greenhouse gas emissions from fossil fuels can be avoided.
5b	How does the consumption of renewable energy correlate with the avoidance of greenhouse gas emissions?	Associate/ correlate	Correlates positively. The more renewable energy is consumed, the more greenhouse gas emissions can be avoided.

*Tabelle 6 Testaufgaben
Quelle: Eigene Darstellung*

3.3.4 Geplante Vorgehensweise

Im Rahmen der Testdurchführung erfolgt zunächst eine Erklärung des Testzwecks. Im Anschluss ist eine allgemeine Umfrage (**Anhang I**) auszufüllen, in welcher grundlegende demografische Informationen wie Alter, Geschlecht, Bildungsstand sowie bisherige Erfahrungen mit Dashboards und dem Thema erneuerbare Energien erfasst werden. Des Weiteren wird der Nutzer um die Einwilligung zur Aufzeichnung der Sitzung für eine spätere Überprüfung und Analyse der Interaktion gebeten.

Nielsen (1994:178f.) unterscheidet zwei Ansätze zum Testen multipler Systeme, den „between-subject“- und den „within-subject“-Ansatz. Im Rahmen dieser Arbeit wird der „within-subject“-Ansatz verwendet, bei dem jeder Benutzer mit beiden Prototypen interagiert. Im Gegensatz dazu, interagiert beim „between-subject“-Ansatz jeder Benutzer nur mit einem System, was zu potenziellen Verzerrungen durch Unterschiede in den individuellen Fähigkeiten der Nutzer und den Testbedingungen führen kann. (vgl. Nielsen 1994:178f.)

Bei dem „within-subject“-Ansatz, obwohl die Nutzer bei der Nutzung des zweiten Systems, nicht mehr als völlige Neulinge gelten können, wird dies durch die zufällige Zuweisung, welches System zuerst ausprobiert wird, kompensiert. (ebd.) Deswegen werden einige Testpersonen zuerst mit dem Prototyp ohne Karten und andere mit dem Prototyp mit Karten interagieren.

Die Teilnehmer verfügen über 10 Minuten Zeit, um die Einführung (**Anhang II**) zur Nutzung des ersten Geodashboards zu lesen. Im Anschluss werden die Teilnehmer gebeten, die zugewiesenen Aufgaben (fünf pro Geodashboard) zu erfüllen und bei der Erledigung jeder Aufgabe die Stoppuhr zu nutzen (**Anhang III**). Die Fragen für beide Geodashboard verfügen über ähnliche Komplexität.

Schließlich wird eine kurze Post-Test-Umfrage (**Anhang IV**) durchgeführt, um Meinungen zu sammeln und die subjektiven Präferenzen und Meinungen der Testpersonen zum Mehrwert der Karten in dem Geodashboard zu ermitteln.

Die Umfrage enthält eine Frage dazu, welche Geodashboard-Teilnehmer sich bei der Erledigung der Aufgaben am wohlsten fühlten und warum. Außerdem enthält sie sechs Aussagen, die auf einer fünfstufigen Likert-Skala von "stimme überhaupt nicht zu" bis "stimme voll zu" zu bewerten sind. Diese Aussagen beziehen sich auf das Datenlayout, das Design, die Visualisierung, die Navigation und insbesondere den Mehrwert der Karten. Schließlich werden die Teilnehmer um ihr Feedback gebeten.

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse mittels statistischer Methoden.

3.4 Teil III – Auswertung des Prototyps

Im Rahmen der Testdurchführungen, welche von Juli bis August 2024 stattfanden, wurden mehrere Sitzungen organisiert, die an die Verfügbarkeit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer angepasst wurden. Insgesamt nahmen 15 Personen mit unterschiedlichem beruflichem und akademischem Hintergrund an den Tests teil, darunter 6 Frauen und 9 Männer im Alter von 26 bis 42 Jahren.

Die ersten drei Testdurchläufe wurden als Pilottests klassifiziert, um potenzielle Verbesserungen zu identifizieren und die Methodik zu verfeinern. Im Folgenden werden die wichtigsten Optimierungen und Erkenntnisse aus diesen Pilottests detailliert beschrieben.

- Die Geodashboards wurden hinsichtlich ihrer visuellen Klarheit optimiert, insbesondere durch die Anpassung assoziativer Farben in Titeln und in Karten bzw. Balkendiagrammen mit demselben Thema, um eine intuitivere Navigation zu ermöglichen.
- Im Verlauf der Pilotversuche wurde festgestellt, dass Frage 1b einen Fehler enthielt und Frage 4 a und b nicht die erwartete Klarheit und Eindeutigkeit aufwies. Diese Fragen wurden entsprechend angepasst, um Missverständnisse zu vermeiden. Es wurde ebenfalls die Anleitung angepasst und die Funktionen der Geodashboards wurden noch detaillierter erklärt.
- Den Teilnehmern wurde unbegrenzte Zeit zur Verfügung gestellt, um die Anleitung des Tests vorab in ihrem eigenen Tempo zu lesen und nicht nur 5 Minuten, wie ursprünglich geplant. Dadurch sollte zusätzlicher Stress vermieden und sichergestellt werden, dass alle Teilnehmer die erforderlichen Informationen vollständig und gründlich erfassen konnten, bevor sie mit den Geodashboards interagierten.
- Ursprünglich war geplant, dass sich die Benutzer nach Abschluss jeder Aufgabe mit einer Stoppuhr die Zeit selbst messen sollten. Dies wurde geändert, um zusätzlichen Stress für die Benutzer zu vermeiden und die Konsistenz und Qualität der gemessenen Zeiten zu erhalten.

Die vorgenommenen Anpassungen in den Pilottests haben maßgeblich zur Verbesserung der Methodik beigetragen und die Grundlage für eine erfolgreiche Haupttestphase gelegt. Nach den genannten Anpassungen wurde die Haupttestphase durchgeführt.

Im Rahmen der allgemeinen Umfrage zu Beginn zeigten die Teilnehmer eine breite Vielfalt in Bezug auf Hintergrund, Bildungsniveau und Kompetenzen.

Es wurde darauf geachtet, dass die Teilnehmer, einschließlich der Pilottestpersonen, gleichmäßig auf verschiedene Gruppen verteilt waren: Experten für Geoinformationen und räumliche Datenanalyse, Experten im Bereich erneuerbare Energien sowie Personen ohne spezifische Kenntnisse in diesen Bereichen. Diese heterogene Verteilung der Teilnehmer ermöglicht eine umfassende Bewertung der Auswirkungen der Integration interaktiver Karten auf die Effektivität und Effizienz der Datenvisualisierung und -analyse für unterschiedliche Nutzergruppen. (siehe Abbildung 54)

Die Verteilung der Bildungsniveaus unter den Teilnehmern ist wie folgt: 53,3 % haben einen Masterabschluss, 33,3 % einen Universitätsabschluss und 13,3 % einen Schulabschluss.

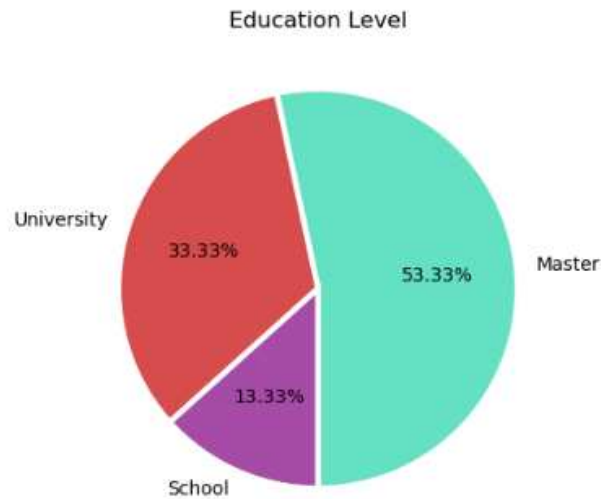


Abbildung 54. Bildungsniveau der Testteilnehmer*innen
Quelle: Eigene Darstellung

Darüber hinaus zeigte sich, dass 46,6 % der Teilnehmer bereits Erfahrungen sowohl mit (Geo-)Dashboards als auch mit Geoinformationssystemen (GIS) gesammelt hatten. (siehe Abbildung 55)

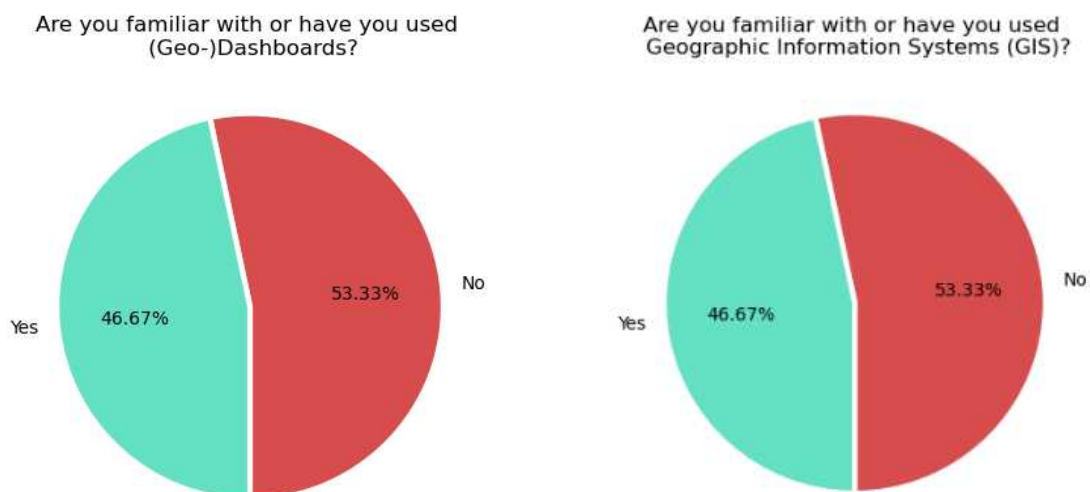


Abbildung 55. Vertrautheit der Teilnehmer*innen mit (Geo-)Dashboards und GIS
Quelle: Eigene Darstellung

Zudem ist die Mehrheit der Teilnehmer mit dem Thema erneuerbare Energien und Dekarbonisierung vertraut: 73,3 % der Teilnehmer hatten bereits Kenntnisse zu diesem Thema.

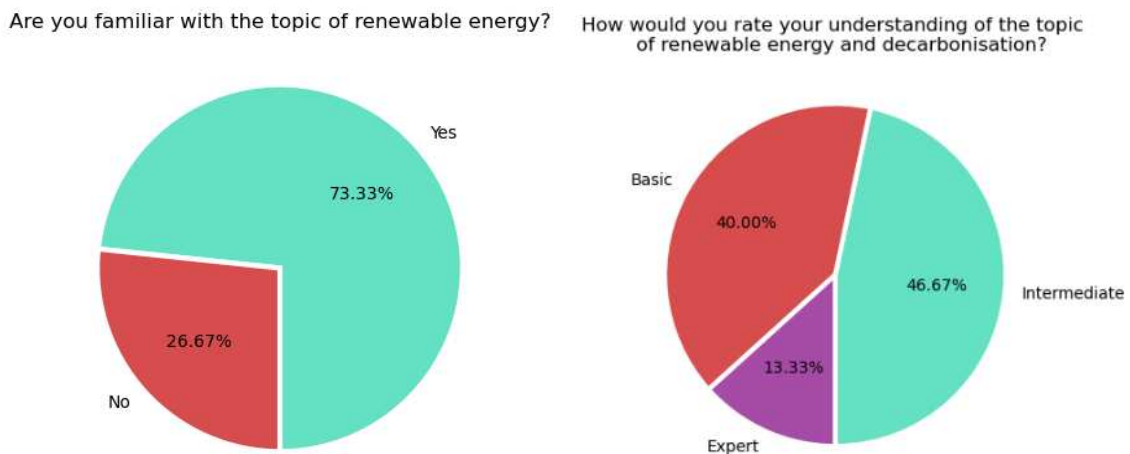


Abbildung 56. Vertrautheit der Teilnehmer*innen mit dem Thema erneuerbaren Energien und deren Niveau
Quelle: Eigene Darstellung

Dies fördert das Verständnis darüber, wie unterschiedliche Nutzergruppen von der Integration interaktiver Karten profitieren können und identifiziert möglicherweise spezifische Anforderungen oder Herausforderungen für verschiedene Nutzergruppen.

Zur Auswertung der mit den beiden Geodashboards erledigten Aufgaben werden verschiedene statistische Methoden verwendet, insbesondere im Hinblick auf die Erfolgsquote der Aufgaben und die dafür benötigte Zeit, um die Effektivität und Effizienz zu bewerten.

Zunächst wird die deskriptive Statistik verwendet, um die gesammelten Daten zu beschreiben und diese graphisch darzustellen. Durch die Berechnung zentraler Kennzahlen wie Mittelwert, Median und Standardabweichung (vgl. Campesato, 2023:56) wird für die Zeit- und Erfolgsquote ein Überblick über die grundlegenden Datenverteilungen und -trends gewonnen.

Diese deskriptiven Statistiken ermöglichen eine Einschätzung der Unterschiede zwischen den beiden getesteten Dashboard-Versionen hinsichtlich der Erfolgsquote und der Bearbeitungszeit pro Aufgabe.

Zur Untersuchung von Beziehungen zwischen den Variablen (Effizienz und Effektivität) werden inferenzielle statistische Verfahren eingesetzt. In dieser Statistik werden Hypothesen verwendet, um Unterschiede zwischen den Variablen zu analysieren. „Die bekanntesten Verfahren in der Inferenzstatistik sind Hypothesentests, mit denen ein Gruppenunterschied geprüft werden kann [...]“ (DATAtab Team, 2024).

Es werden üblicherweise zwei Hypothesen formuliert: die Nullhypothese (H_0) und die Alternativhypothese (H_a). Die Nullhypothese (H_0) besagt, dass es keinen Unterschied oder keine Beziehung zwischen den Gruppen gibt, während die Alternativhypothese (H_a) postuliert, dass es einen statistisch signifikanten Unterschied gibt (vgl. Barton & Peat, 2014:8).

Bei Hypothesentests wird in der Regel ein P-Wert berechnet. *“A p-value is a numeric value that is used to determine whether the null hypothesis will be rejected.”* (Campesato, 2023: 154).

Der P-Wert gibt Aufschluss darüber, ob die Nullhypothese abgelehnt oder beibehalten werden muss. Dabei wird ein Signifikanzniveau von in der Regel 0,05 verwendet. Liegt der P-Wert unter diesem Niveau, wird die Nullhypothese abgelehnt. Andernfalls kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, was bedeutet, dass keine ausreichenden Beweise vorliegen, um einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen zu bestätigen. (vgl. Barton & Peat, 2014: 8f.; Campesato, 2023:154)

Mishra et al. (2019) erläutern wichtige Punkte, die bei der Wahl eines geeigneten statistischen Verfahrens zu beachten sind, wie zum Beispiel das Ziel der Studie, die Art und Verteilung der Daten sowie ob es sich um paarweise oder nicht paarweise Beobachtungen handelt.

Hinsichtlich der Datentypen wird als unabhängige Variable die Art des Dashboards (mit oder ohne Karte) verwendet, welche nominal ist. Die abhängigen Variablen sind wie folgt definiert: die Genauigkeit wird als Binärwert (0 - falsch, 1- richtig) berechnet, der Datentyp ist kategorial. Die Zeit, welche für jede Aufgabe aufgewendet wird, wird in Sekunden gemessen und gehört zum Datentyp Ratio. Die Likert-Skala des letzten Fragebogens, welche die Meinungen oder Bewertungen der Nutzer über ihre Erfahrungen mit dem Dashboard erfasst, entspricht dem Datentyp Intervall.

Bezüglich der Verteilung der Daten wird zur Überprüfung der Normalverteilung der Bearbeitungszeiten der Shapiro-Wilk-Test verwendet, der sich gut für kleine Stichproben und kontinuierliche Daten eignet. (vgl. Barton & Peat, 2014:34ff.)

Da in dieser Masterarbeit ein „Within-Subject“ Ansatz verwendet wurde, bei dem dieselben Teilnehmer beide Bedingungen durchlaufen, ist laut Mishra et al. (2019) ein gepaarter Test geeignet.

Schließlich wird die Auswertung der Post-Test-Umfrage durchgeführt, um die subjektiven Präferenzen und Meinungen der Testpersonen zum Mehrwert der Karten in dem Geodashboard zu analysieren und es besser zu verstehen, mittels deskriptiver Statistik. Dies ermöglicht es, festzustellen, ob aus der Sicht der Nutzer signifikante Abweichungen erkennbar sind, die darauf hindeuten, dass Karten einen Mehrwert im Geodashboard bieten und so die dritte Arbeitsfrage beantworten zu können.

Im folgenden Kapitel 4 werden die Ergebnisse und die Interpretation dieser Analyse ausführlich dargestellt.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Tests vorgestellt und interpretiert. Zunächst werden für jedes Geodashboard die Erfolgsquote der Aufgaben und die dafür benötigte Zeit mit Hilfe der deskriptiven Statistik analysiert, so dass die individuelle Leistung der Systeme bewertet und die Ergebnisse verglichen werden können.

Anschließend werden inferenzstatistische Methoden angewendet, um festzustellen, ob es einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Geodashboards in Bezug auf Effizienz (Bearbeitungszeit) und Effektivität (erfolgreich abgeschlossene Aufgaben) gibt.

Darüber hinaus wird das Feedback der Teilnehmer im Hinblick auf ihre Präferenzen und Meinungen zum Mehrwert von Karten in Geodashboards analysiert.

Letztendlich wird überprüft, ob die Hypothese dieser Masterarbeit, dass die Integration interaktiver Karten in Geodashboards in der praktischen Anwendung zu einer besseren Performance führt, zutrifft.

➤ Erfolgreich abgeschlossene Aufgaben

Um die Genauigkeit der Nutzer bei der Bearbeitung der Aufgaben mit den beiden Geodashboards zu analysieren, wurden die Ergebnisse in binärer Form umgewandelt, wobei "1" für korrekte und "0" für falsche Antworten steht. (siehe Abbildung 57)

Geodashboard A						Participant average
Participant	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	
Pilot Test 1	1	1	1	0	1	80%
Pilot Test 2	1	0	1	0	0	40%
Pilot Test 3	1	0	1	1	1	80%
Participant 4	1	1	1	1	1	100%
Participant 5	1	0	1	1	1	80%
Participant 6	1	1	1	1	1	100%
Participant 7	1	1	1	0	1	80%
Participant 8	1	0	1	0	1	60%
Participant 9	1	0	1	0	1	60%
Participant 10	1	1	1	0	1	80%
Participant 11	1	1	1	0	1	80%
Participant 12	1	0	1	1	1	80%
Participant 13	1	0	1	1	1	80%
Participant 14	1	0	1	0	0	40%
Participant 15	1	1	1	0	1	80%
Total	100%	50%	100%	42%	92%	
Novice	100%	25%	100%	25%	75%	
GIS-Knowledge	100%	75%	100%	25%	100%	
RES-Knowledge	100%	50%	100%	75%	100%	

Geodashboard B						Participant average
Participant	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	
Pilot Test 1	1	1	1	1	1	100%
Pilot Test 2	1	1	1	0	0	60%
Pilot Test 3	1	0	0	0	1	40%
Participant 4	1	1	1	1	1	100%
Participant 5	1	1	1	0	0	60%
Participant 6	0	1	1	0	1	60%
Participant 7	1	1	1	0	1	80%
Participant 8	1	0	1	0	1	60%
Participant 9	1	1	1	0	1	80%
Participant 10	1	1	0	0	1	60%
Participant 11	1	1	1	1	1	100%
Participant 12	1	1	1	1	1	100%
Participant 13	1	1	1	1	1	100%
Participant 14	1	1	1	0	0	60%
Participant 15	1	1	1	1	1	100%
Total	92%	92%	92%	42%	83%	
Novice	75%	75%	100%	0%	75%	
GIS-Knowledge	100%	100%	75%	50%	100%	
RES-Knowledge	100%	100%	100%	75%	75%	

Abbildung 57. Binärer Aufgabenerfolg mit dem Geodashboard A und B (0 = Falsch, 1 = Richtig)
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildung 58 fasst die vergleichenden Ergebnisse beider Geodashboards zusammen. Auf Geodashboard A (mit Karte) zeigten die Aufgaben 1, 3 und 5 mit 100% richtig gelösten Aufgaben eine hohe Erfolgsquote. Bei den Aufgaben 2 und 4 waren es dagegen nur 50 % bzw. 42 %.

Auf Geodashboard B (ohne Karte) erreichten die Teilnehmer bei den Aufgaben 1, 2 und 3 mit 92 % ebenfalls eine hohe Erfolgsquote. Die Aufgabe 4 hatte, ähnlich wie bei Geodashboard A, mit 42 % die niedrigste Erfolgsquote, während Aufgabe 5 eine Erfolgsquote von 83 % aufwies.

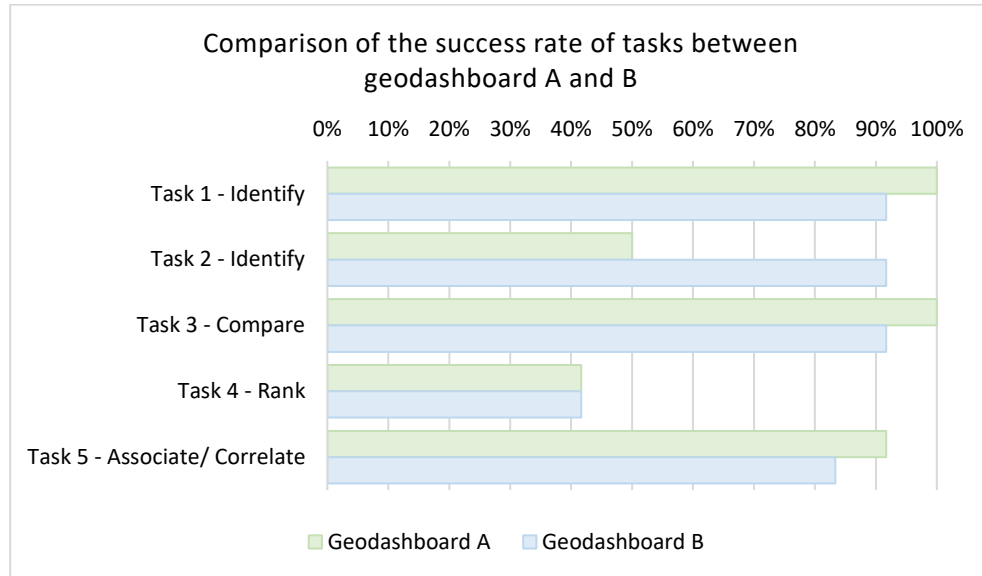


Abbildung 58. Vergleich der Erfolgsquote der Aufgaben zwischen Geodashboard A und B
Quelle: Eigene Darstellung

Die Analyse der Ergebnisse pro Gruppe zeigt, dass die Leistung der Teilnehmer ebenfalls in Abhängigkeit von der Aufgabe und dem Geodashboard variiert. Im Folgenden werden die spezifischen Ergebnisse für jede Gruppe und die jeweiligen Aufgaben detaillierter vorgestellt.

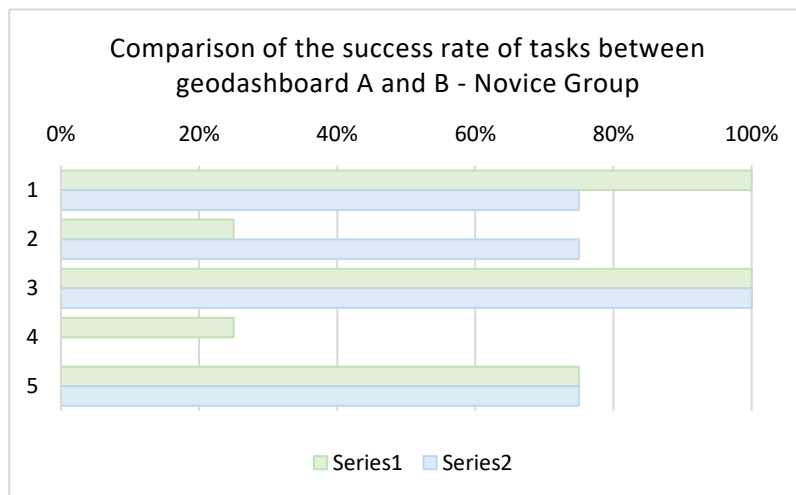


Abbildung 59. Erfolgsquote bei der „Novice“ Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

Bei den „Unerfahrenen“, in diesem Fall Personen ohne fortgeschrittene Kenntnisse in Geoinformationssystemen (GIS) oder erneuerbaren Energien (RES), erreichten auf dem Geodashboard mit Karte deutlich bessere Ergebnisse, insbesondere bei der ersten und dritten Aufgabe, wo die Erfolgsquote der korrekten Antworten bei

100 % lag. Bei der zweiten Aufgabe schnitt das Geodashboard ohne Karte besser ab und bei der fünften Aufgabe lag die Erfolgsquote bei beiden Geodashboards gleich hoch.

Besonders auffällig ist die Erfolgsquote von 0% bei Aufgabe 4 mit Geodashboard B, da kein Teilnehmer dieser Gruppe in der Lage war, diese Aufgabe erfolgreich zu lösen. Ebenso war bei Geodashboard A die Erfolgsquote bei dieser Aufgabe niedriger als bei den anderen Aufgaben.

Bei den Teilnehmern mit GIS-Kenntnissen zeigte das Geodashboard mit Karte leicht höheren Erfolgsquoten insgesamt.

Die ersten, dritten und fünften Aufgaben wurden auf Geodashboard mit Karte von allen Teilnehmern dieser Gruppe korrekt gelöst.

Beim Geodashboard ohne Karte lag die Erfolgsquote bei der ersten, zweiten und fünften Aufgabe ebenfalls bei 100 %.

In dieser Gruppe wies ebenfalls die vierte Aufgabe in beiden Geodashboards die niedrigste Erfolgsquote auf, wobei das Geodashboard ohne Karte etwas bessere Ergebnisse erreichte.

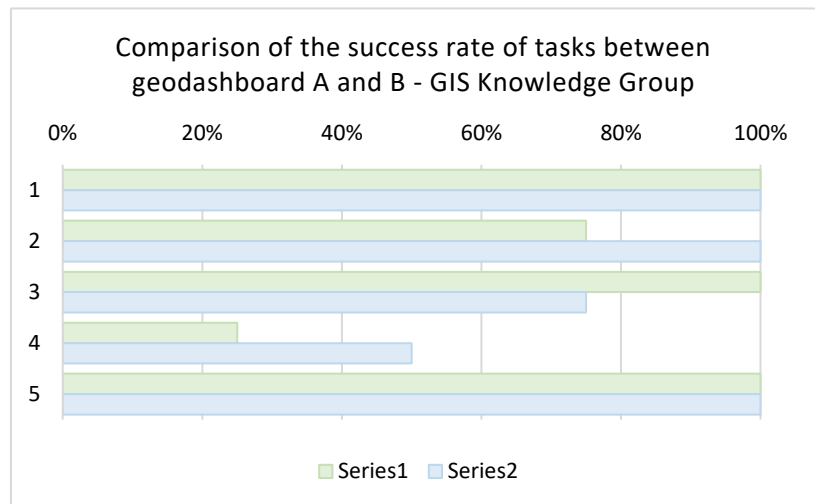


Abbildung 60 Erfolgsquote bei der GIS-Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

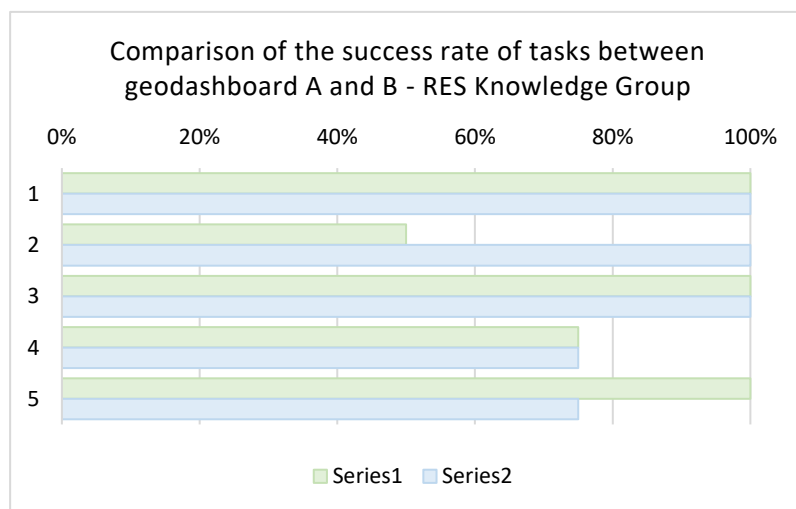


Abbildung 61. Erfolgsquote bei der RES-Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

In der Gruppe der Teilnehmer mit RES-Kenntnissen zeigen beide Geodashboards insgesamt eine höhere Erfolgsquote als in den anderen Gruppen.

Das Geodashboard ohne Karte erreichte jedoch eine bessere Leistung. Auf dem Geodashboard mit Karte erreichten die erste, dritte und fünfte Aufgabe eine Erfolgsquote von 100 %, ebenso wie die ersten drei

Aufgaben auf dem Geodashboard ohne Karte. Die zweite Aufgabe auf dem Geodashboard mit Karte erreichte jedoch nur eine Erfolgsquote von 50 %.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Geodashboard mit Karte insbesondere für die unerfahrene Gruppe und für die Gruppe mit GIS-Kenntnissen eine bessere Leistung erbrachte, während das Geodashboard ohne Karte für Teilnehmer mit Kenntnissen in erneuerbaren Energien (RES) geeigneter war. Insgesamt verzeichnete das Geodashboard ohne Karte jedoch die höchste Anzahl von Erfolgen.

➤ Aufgaben Bearbeitungszeit

Die Aufgabenbearbeitungszeit wurde in Sekunden umgerechnet und beschreibt den Zeitraum, in dem die Nutzer die Aufgaben mit dem jeweiligen Geodashboard bearbeitet haben, von der ersten Mausbewegung bis zur Eintragung der Antwort in das entsprechende Antwortblatt.

In den Abbildung 62 und Abbildung 63 werden die Boxplots der Geodashboards A (mit Karte) und B (ohne Karte) für alle Nutzergruppe dargestellt, welche die Verteilung der Bearbeitungszeiten pro Aufgabe veranschaulichen.

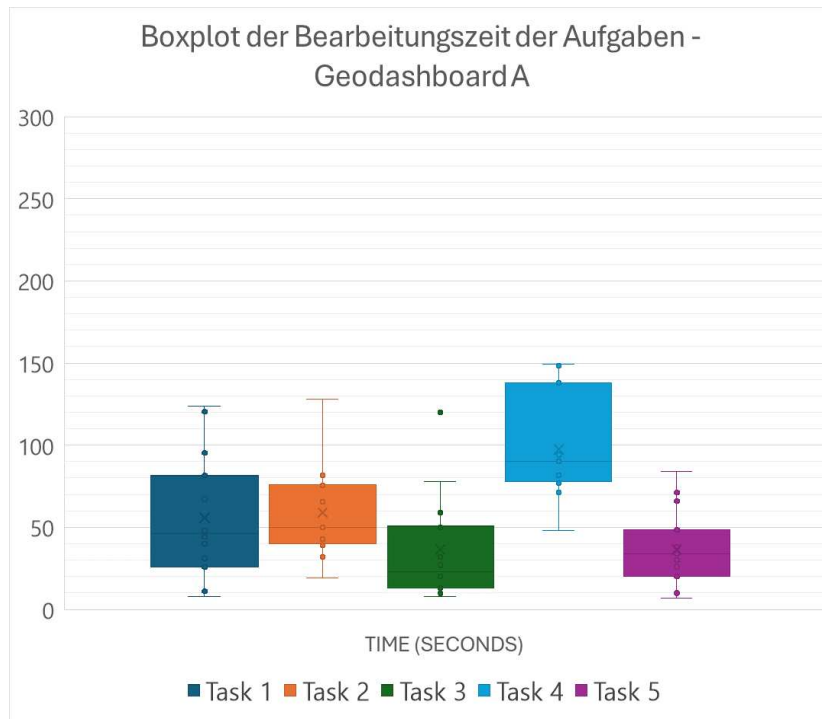


Abbildung 62. Boxplot der Bearbeitungszeit der Aufgaben mit dem Geodashboard A
Quelle: Eigene Darstellung

Im Geodashboard mit Karte zeigt die Aufgabe 4 den höchsten Mittelwert (91,31 Sekunden). Bei dieser Aufgabe wurde von den Nutzern eine längere Zeit benötigt als bei den anderen Aufgaben. Im Gegensatz dazu weist die Aufgabe 3 mit 33,01 Sekunden den niedrigsten Mittelwert auf. Allerdings wurde ein Ausreißer (Outlier) beobachtet, der auf außergewöhnlich lange Bearbeitungszeiten hinweist. Es kann zudem festgestellt werden, dass die Bearbeitungszeiten der Aufgaben eins und vier im Vergleich zu den anderen Aufgaben eine höhere Variabilität aufweisen. Bei Aufgabe fünf hingegen sind die Daten weniger stark gestreut. (siehe Abbildung 62)

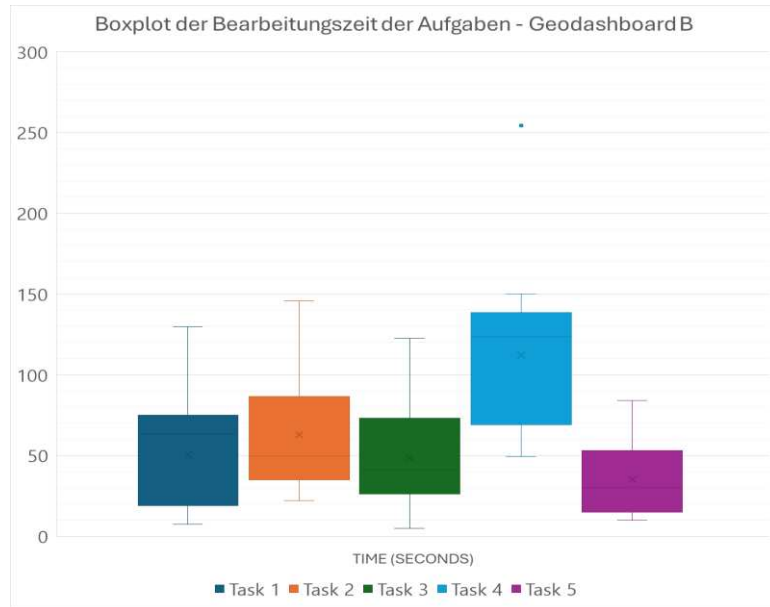


Abbildung 63. Boxplot der Bearbeitungszeit der Aufgaben mit dem Geodashboard B
Quelle: Eigene Darstellung

Wie beim Geodashboard mit Karte, weist auch beim Geodashboard ohne Karte die vierte Aufgabe den höchsten Mittelwert (102,47 Sekunden) auf, während die fünfte Aufgabe mit dem niedrigsten Mittelwert (27,68 Sekunden) das beste Ergebnis in Bezug auf die Bearbeitungszeit zeigt. Im Allgemeinen weisen alle Aufgaben eine geringere Spannweite auf als in Geodashboard A, was auf eine geringere Variabilität der Bearbeitungszeiten hinweist.

Wie bei der vorherigen Erfolgsquoten Analyse werden im Folgenden die Ergebnisse der Segmentierung nach Nutzergruppen dargestellt, was die Identifizierung spezifischer Muster bei den Bedürfnissen und Fähigkeiten der einzelnen Gruppen erleichtert. (siehe Abbildung 64, Abbildung 65, Abbildung 66)

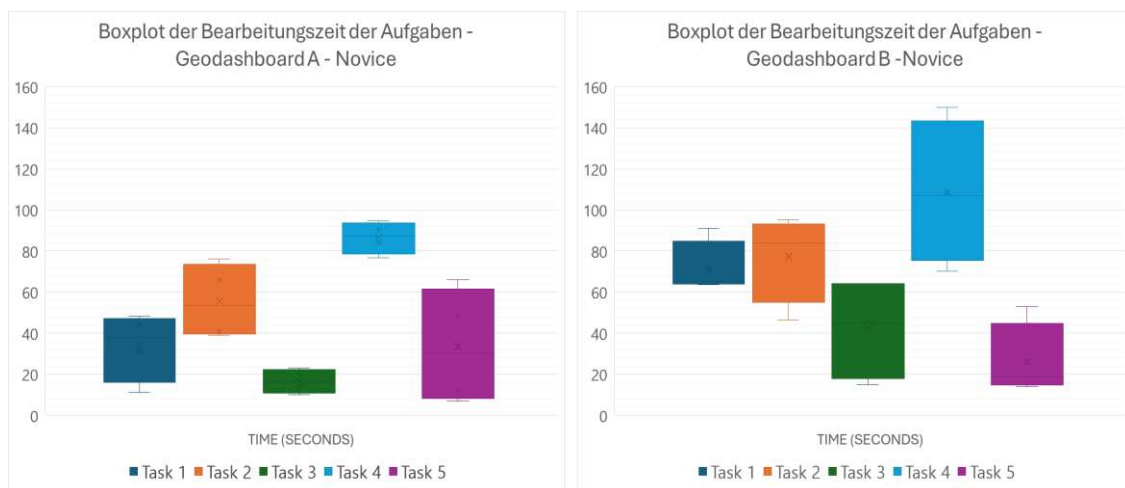


Abbildung 64. Boxplots der Bearbeitungszeit für die unerfahrene Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

Bei der unerfahrenen Gruppe (siehe Abbildung 64) zeigt die Aufgabe 4 die höchsten Mittelwerte in beiden Geodashboards (86,5 bzw. 108,6 Sekunden). Im Geodashboard mit

Karte gibt es eine höhere Variabilität der Daten in den Aufgaben 1 und 5, während im Geodashboard ohne Karte in den Aufgaben 2, 3 und 4. Dies deutet darauf hin, dass es innerhalb der gleichen Gruppe Unterschiede in den Bearbeitungszeiten gibt. Die Aufgabe 3 auf dem Geodashboard mit Karte zeigt den niedrigsten Mittelwert (16,5 Sekunden) und auf dem ohne Karte die Aufgabe 5 (26,10 Sekunden).

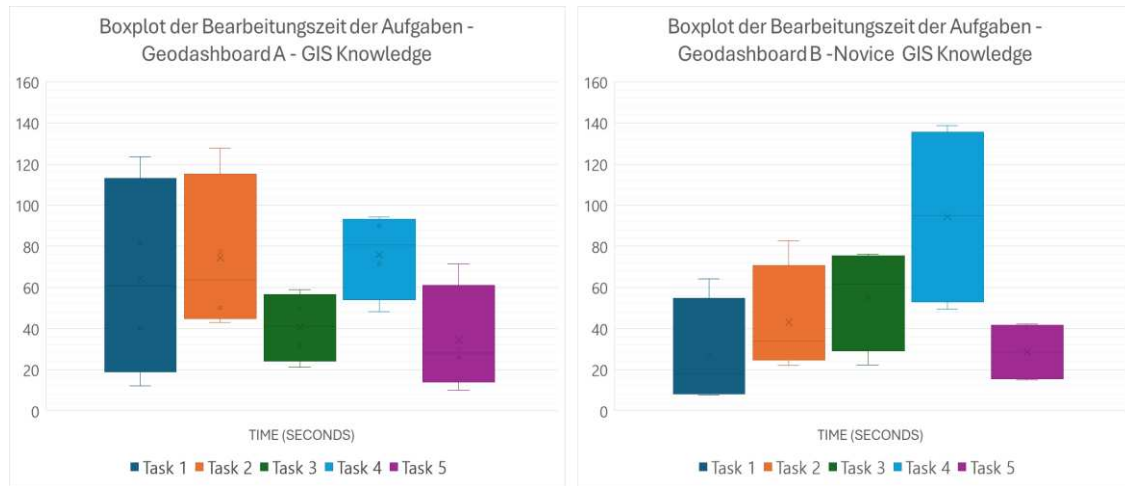


Abbildung 65. Boxplots der Bearbeitungszeit für die GIS-Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Gruppe mit GIS-Kenntnissen ist wiederum Aufgabe 4 in beiden Fällen am zeitaufwändigsten zu bearbeiten. Die Mittelwerte entsprechen 75,9 Sekunden für das Geodashboard mit Karte und 79,7 Sekunden für das Geodashboard ohne Karte. Auch in diesem Fall zeigen die Aufgaben 1, 2 und 5 im Geodashboard mit Karte die größte Variabilität, während die Aufgaben 2 und 4 im Geodashboard ohne Karte die größte Variabilität aufweisen. (siehe Abbildung 65)

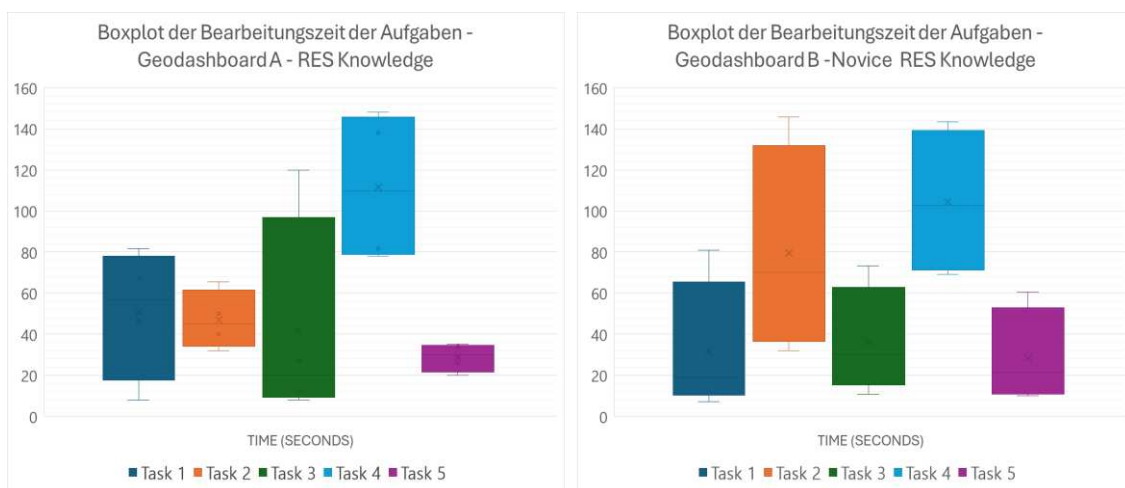


Abbildung 66. Boxplots der Bearbeitungszeit für die RES-Gruppe
Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Gruppe mit RES-Kenntnissen (siehe Abbildung 66) ist zu beobachten, dass wie bei den anderen beiden Gruppen auch die Aufgabe 4 in beiden Geodashboards eine längere Bearbeitungszeit hat (Mittelwert 111,4 für das Geodashboard mit Karte und 104,4 für das

Geodashboard ohne Karte). Im Gegensatz dazu benötigte die Aufgabe 5 auf dem Geodashboard mit Karte weniger Zeit und weist eine geringere Variabilität auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung oder Nichtverwendung der Karte die verschiedenen Benutzergruppen unterschiedlich beeinflusst, wie im Folgenden detailliert beschrieben wird:

Bei Aufgabe 1 (Identifizieren) zeigte sich, dass die durchschnittliche Zeit zur Erfüllung der Aufgabe mit dem Geodashboard ohne Karte insgesamt schnell war. Die Gruppe der Unerfahrenen erledigte die Aufgaben jedoch schneller mit der Schnittstelle A (mit Karte). Im Gegensatz dazu war die Gruppe mit GIS-Kenntnissen schneller mit dem Geodashboard ohne Karte, mit einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 26,94 Sekunden. Die Unerfahrenen benötigten durchschnittlich 71,25 Sekunden mit demselben Geodashboard.

Auch mit dem Geodashboard ohne Karte gab es weniger Variabilität in den Ergebnissen, was bedeutet, dass die Benutzer bei der Ausführung der Aufgabe eine konsistentere und gleichmäßigere Leistung zeigten. Besonders die Gruppe mit RES-Kenntnissen wies in beiden Geodashboards weniger Variabilität auf.

Bei Aufgabe 2 (Identifizieren) waren die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten mit dem Geodashboard mit Karte kürzer, außer bei der Gruppe mit GIS-Kenntnissen, welche mit dem Geodashboard ohne Karte schneller war (im Durchschnitt 45,91 Sekunden). Die Gruppe mit RES-Kenntnissen benötigte im Durchschnitt die längste Zeit (79,48) mit dem Geodashboard ohne Karte. Bei dieser Aufgabe ist die Variabilität der Daten für das Geodashboard mit Karte geringer.

Bei Aufgabe 3 (Vergleichen) war die Bearbeitungszeit insgesamt mit dem Geodashboard mit Karte besser, mit Ausnahme der Gruppe mit RES- Kenntnissen. Die Unerfahrenen bearbeiteten die Aufgabe mit diesem Geodashboard deutlich schneller (durchschnittlich 16,54 Sekunden). Die Gruppe mit GIS-Kenntnissen benötigte mit dem Geodashboard ohne Karte mit durchschnittlich 55,40 Sekunden die längste Zeit für diese Aufgabe.

Bei Aufgabe 4 („Ranking“), welche die meiste Interaktion erfordert, wurden die längsten Zeiten beobachtet. Im Allgemeinen war die Leistung mit dem Geodashboard mit Karte besser, außer bei der Gruppe mit RES- Kenntnissen.

Die Gruppe mit GIS-Kenntnissen erledigte die Aufgabe schneller, mit einer durchschnittlichen Zeit von 75,92 Sekunden, während die RES-Gruppe langsamer war, mit einer durchschnittlichen Zeit von 111,45 Sekunden. Bei dieser Aufgabe ist eine größere Variation der Zeiten mit dem Geodashboard ohne Karte zu erkennen.

Bei Aufgabe 5 (Assoziieren) schließlich waren die Leistungen aller Gruppen ohne die Verwendung der Karte besser, obwohl der Unterschied minimal war.

Die Unerfahrenen schnitten bei der Verwendung des Geodashboards ohne Karte mit einer Durchschnittszeit von 26,10 Sekunden schneller ab, während die Gruppe mit GIS-Kenntnissen bei der Verwendung des Geodashboards mit Karte mit einer Durchschnittszeit von 34,35 Sekunden langsamer war. Diese Aufgabe war die schnellste und wies die geringsten Unterschiede zwischen den Gruppen auf.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Aufgaben 2, 3 und 4 mit der Karte in kürzerer Zeit bearbeitet wurden. Besonders die unerfahrene Gruppe profitierte stark von der Karte und erledigte die ersten vier Aufgaben schneller. Im Gegensatz dazu war die Gruppe mit GIS-Kenntnissen nur bei den Aufgaben 3 und 4 schneller mit der Karte, während sie in den anderen Aufgaben ohne Karte weniger Zeit benötigte. Für die RES-Gruppe führte die Karte nur bei Aufgabe 2 zu einer Zeitersparnis.

➤ Erfolgsquote und Bearbeitungszeit

Da eine kürzere Bearbeitungszeit nicht immer bedeutet, dass die Aufgabe erfolgreicher abgeschlossen wurde oder umgekehrt, eine längere Bearbeitungszeit die Aufgabe nicht so erfolgreich abgeschlossen wurde, ist es wichtig, den Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren genauer zu betrachten. Eine schnelle Bearbeitung kann oft auf Ungenauigkeiten hinweisen, während eine längere Bearbeitungszeit häufig auf eine sorgfältigere Analyse und Überlegung hindeutet. Im Folgenden wird die Erfolgsquote und Bearbeitungszeit näher analysiert. (siehe Abbildung 67)

Bearbeitungszeiten und Erfolgsquoten				
Task 1				
User	Geodashboard with map		Geodashboard without map	
	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote
General	49.55	100%	43.25	92%
Novice	33.63	100%	71.25	75%
GIS	64.30	100%	26.94	100%
RES	50.73	100%	31.55	100%
Task 2				
User	Geodashboard with map		Geodashboard without map	
	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote
General	59.00	50%	66.67	92%
Novice	55.55	25%	77.42	75%
GIS	74.55	75%	45.91	100%
RES	46.89	50%	79.48	100%
Task 3				
User	Geodashboard with map		Geodashboard without map	
	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote
General	33.01	100%	44.62	92%
Novice	16.54	100%	42.36	100%
GIS	40.56	100%	55.40	75%
RES	41.94	100%	36.10	100%
Task 4				
User	Geodashboard with map		Geodashboard without map	
	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote
General	91.31	42%	102.47	42%
Novice	86.55	25%	108.60	0%
GIS	75.92	25%	79.68	50%
RES	111.45	75%	104.40	75%
Task 5				
User	Geodashboard with map		Geodashboard without map	
	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote	Bearbeitungszeit Mean	Erfolgsquote
General	32.15	92%	27.68	83%
Novice	33.37	75%	26.10	75%
GIS	34.35	100%	28.58	100%
RES	28.74	100%	28.38	75%

Abbildung 67 Bearbeitungszeiten und Erfolgsquoten
Quelle: Eigene Darstellung

In der Aufgabe 1 haben die Benutzer*innen die Aufgabe insgesamt schneller mit dem Geodashboard ohne Karte abgeschlossen, erzielten jedoch bessere Ergebnisse mit dem Geodashboard mit Karte. Für die Unerfahrenen waren sowohl die Bearbeitungszeit als auch die Erfolgsquote mit dem Geodashboard mit Karte besser. Im Gegensatz dazu waren die Benutzer mit GIS- und RES-Kenntnissen schneller mit dem Geodashboard ohne Karte, erzielten jedoch mit beiden Schnittstellen die gleiche Erfolgsquote.

In der Aufgabe 2 war es umgekehrt. Im Allgemeinen sowie bei der Unerfahrenen und der Gruppe mit RES-Kenntnissen, waren diese schneller mit dem Geodashboard mit Karte, erzielten jedoch bessere Ergebnisse ohne Karte. Die GIS-Gruppe war schneller und erzielte ebenfalls bessere Ergebnisse ohne Karte.

Bei der Aufgabe 3 (Vergleichen) wurde die Aufgabe im Allgemeinen schneller gelöst und es wurden bessere Ergebnisse mit dem Geodashboard mit Karte erzielt. Die Gruppe mit RES-Kenntnissen war mit dem Geodashboard mit Karte schneller, erreichte aber mit beiden Geodashboards eine Erfolgsquote von 100 %.

Die Aufgabe 4 war die anspruchsvollste in Bezug auf Interaktion, was die längeren Bearbeitungszeiten erklärt. Im Allgemeinen waren sowohl die Unerfahrenen als auch die Gruppe mit GIS-Kenntnissen schneller mit dem Geodashboard mit Karte. Die Unerfahrenen schnitten bei dieser letzten Aufgabe besser ab, während die Gruppe mit GIS-Kenntnissen ohne Karte besser abschnitt.

Bei der fünften Aufgabe war das Geodashboard ohne Karte (B) in Bezug auf die Bearbeitungszeit im Allgemeinen und bei den Unerfahrenen schneller, während das Geodashboard mit Karte (A) bessere Erfolgsquoten für alle Gruppen sowie die Gruppe mit RES-Kenntnissen bot. Die Gruppe mit GIS-Kenntnissen erzielte in beiden Geodashboards eine Erfolgsquote von 100%.

Insgesamt führte die Verwendung der Karte häufig zu besseren Ergebnissen. Besonders Unerfahrene profitierten in den meisten Aufgaben, wie in Aufgabe 1, Aufgabe 3 und Aufgabe 4, von der kartographischen Darstellung, da sie sowohl bessere Zeiten als auch höhere Erfolgsquoten erzielten. Die Gruppe mit GIS-Kenntnissen erzielte sowohl bessere Zeiten als auch höhere Erfolgsquoten mit dem Geodashboard mit Karte in Aufgabe 3. Bei den Aufgaben 1 und 5 waren sie mit dem Geodashboard ohne Karte schneller, obwohl die Erfolgsquote bei beiden Geodashboards gleich blieb. Bei den Aufgaben 2 und 4 schnitten sie auch ohne Karte besser ab.

Die Gruppe mit RES-Kenntnissen war in Aufgabe 1, Aufgabe 3 und Aufgabe 4 schneller mit dem Geodashboard ohne Karte, erzielte jedoch bei beiden Varianten die gleichen Erfolgsquoten. In Aufgabe 2 waren sie schneller mit dem Geodashboard mit Karte, erreichten jedoch eine höhere Erfolgsquote ohne Karte. In Aufgabe 5 war es umgekehrt: Hier waren sie schneller ohne Karte, erzielten aber bessere Ergebnisse mit Karte.

➤ Effektivität

Zur Überprüfung, ob ein statistisch signifikanter Unterschied in der Effektivität des Geodashboards mit und ohne Karte besteht, wird der McNemar Test verwendet. Dieser Test eignet sich besonders für binäre Daten (wie in diesem Fall richtig (1) oder falsch (0)) und gepaarte Stichproben. (vgl. Barton & Peat, 2014:281)

„[...] Often, McNemar's test is also referred to as "within-subjects chi-squared test," and it is applied to paired nominal data based on a version of 2x2 confusion matrix (sometimes also referred to as 2x2 contingency table) that compares the predictions of two models to each other [...] (Raschka, 2018:35). (siehe Abbildung 68)

		Model 2 correct	Model 2 wrong
Model 1 correct	A	B	
Model 1 wrong	C	D	

Abbildung 68. Kontingenz Tabelle
Quelle: Raschka, 2018:36

Wo:

A: Anzahl an Teilnehmer*innen, welche die Aufgabe auf beiden Geodashboards (A und B) erfolgreich bearbeitet haben.

B: Anzahl an Teilnehmer*innen, welche mit dem Geodashboard A erfolgreich waren, mit B aber nicht.

C: Anzahl an Teilnehmer*innen, welche mit dem Geodashboard A nicht erfolgreich, bei B aber erfolgreich waren.

D: Anzahl an Teilnehmer*innen, die bei beiden Dashboards nicht erfolgreich waren.

Im Abbildung 69 sind die Kontingenztabelle für alle Aufgaben sowie für jede Aufgabe dargestellt.

Contingency Table		
All Users		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	41	5
Geodashboard A - Failure	7	7
Task 1		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	11	1
Geodashboard A - Failure	0	0
Task 2		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	6	0
Geodashboard A - Failure	5	1
Task 3		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	11	1
Geodashboard A - Failure	0	0
Task 4		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	3	2
Geodashboard A - Failure	2	5
Task 5		
	Geodashboard B - Success	Geodashboard B - Failure
Geodashboard A - Success	10	1
Geodashboard A - Failure	0	1

Abbildung 69. Kontingenztabelle für alle Aufgaben und bei Aufgabe.
Quelle: Eigene Darstellung

Der McNemar-Test wurde mithilfe der statistischen Python-Bibliothek statsmodels.stats.contingency_tables.mcnemar (Perkold et al., 2024) durchgeführt. In Abbildung 70 sind die Ergebnisse dieses Tests dargestellt.

```

McNemar Test
All Users
Task 1 - p-value=1.0000
Task 2 - p-value=0.0625
Task 3 - p-value=1.0000
Task 4 - p-value=1.0000
Task 5 - p-value=1.0000
All Task - p-value=0.7744

```

Abbildung 70. McNemar's Test Ergebnisse
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

Aus den Ergebnissen des McNemar-Tests wird deutlich, dass alle P-Werte über dem Signifikanzniveau von 0,05 liegen. Aus diesem Grund kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, was darauf hinweist, dass kein signifikanter Unterschied in den Erfolgsquoten vom Geodashboard mit Karte und Geodashboard ohne Karte vorliegt.

Eine Ausnahme bildet Aufgabe 2 mit einem P-Wert von 0,062, der nahe an der Signifikanzgrenze von 0,05 liegt, aber darüber bleibt. Für alle Aufgaben zusammen beträgt der P-Wert 0,7, was ebenfalls keinen signifikanten Unterschied anzeigt.

➤ Effizienz

Ähnlich wie bei der Analyse der Effektivität wird eine statistische Methode verwendet, um festzustellen, ob es einen statistisch signifikanten Unterschied in der Effizienz der beiden Geodashboards gibt.

Da es sich in diesem Fall um kontinuierliche Daten handelt, wird in einem ersten Schritt mit dem oben erwähnten Shapiro-Wilk-Test geprüft, ob die Bearbeitungszeiten einer Normalverteilung folgen. Die Nullhypothese (H_0) des Tests lautet, dass die Daten einer Normalverteilung entsprechen, während die Alternativhypothese (H_a) besagt, dass die Daten keiner Normalverteilung folgen. (vgl. Barton & Peat, 2014)

Basierend auf den Ergebnissen wird die geeignetste statistische Methode ausgewählt. Wenn die Bearbeitungszeiten normalverteilt sind, wird ein parametrischer Test wie der t-Test angewendet, um Unterschiede zwischen den Geodashboards zu analysieren. Sollte jedoch keine Normalverteilung vorliegen, werden nicht-parametrische Tests wie der Mann-Whitney-U-Test oder der Wilcoxon Test herangezogen. (vgl. Parab et al., 2010: 189)

Der Test wurde ebenfalls mit Hilfe statistischer Python-Bibliotheken pandas, NumPy und SciPy durchgeführt. Im Folgenden sind die Ergebnisse für jede Aufgabe und jedes Geodashboard angezeigt. (siehe Abbildung 71 und Abbildung 72)

```
Geodashboard A - Shapiro-Wilk Test by task
All users:
Time 1 Statistic=0.9284, p-value=0.3639
Time 2 Statistic=0.8269, p-value=0.0192
Time 3 Statistic=0.7415, p-value=0.0022
Time 4 Statistic=0.8720, p-value=0.0694
Time 5 Statistic=0.9136, p-value=0.2370
```

Abbildung 71. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse für das Geodashboard mit Karte
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

```
Geodashboard B - Shapiro-Wilk Test by task
All users:
Time 1 - Statistic=0.8624, p-value=0.0523
Time 2 - Statistic=0.9055, p-value=0.1869
Time 3 - Statistic=0.8839, p-value=0.0983
Time 4 - Statistic=0.8976, p-value=0.1479
Time 5 - Statistic=0.8604, p-value=0.0495
```

Abbildung 72. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse für das Geodashboard ohne Karte
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

Wie im Unterkapitel 3.4 erwähnt, [...] *a P value less than 0.05 provides evidence that the distribution is significantly different from normal* (Barton & Peat, 2014:34).

Die Ergebnisse zeigen, dass im Geodashboard mit Karte die Aufgaben 2 und 3 nicht der Normalverteilung entsprechen, ebenso wie die fünfte Aufgabe im Geodashboard ohne Karte. In diesen Fällen wird die Nullhypothese abgelehnt.

Geodashboard A - Shapiro-Wilk Test by task	Geodashboard B - Shapiro-Wilk Test by task
Novices:	Novices:
Time 1 Statistic=0.9111, p-value=0.4885	Time 1 - Statistic=0.6830, p-value=0.0072
Time 2 Statistic=0.8652, p-value=0.2792	Time 2 - Statistic=0.8584, p-value=0.2544
Time 3 Statistic=0.9312, p-value=0.6012	Time 3 - Statistic=0.8186, p-value=0.1401
Time 4 Statistic=0.9751, p-value=0.8729	Time 4 - Statistic=0.9739, p-value=0.8656
Time 5 Statistic=0.8900, p-value=0.3829	Time 5 - Statistic=0.7555, p-value=0.0434
GIS-Knowledge:	GIS-Knowledge:
Time 1 Statistic=0.9791, p-value=0.8965	Time 1 - Statistic=0.8430, p-value=0.2042
Time 2 Statistic=0.8890, p-value=0.3786	Time 2 - Statistic=0.8083, p-value=0.1180
Time 3 Statistic=0.8881, p-value=0.3743	Time 3 - Statistic=0.8925, p-value=0.3947
Time 4 Statistic=0.9115, p-value=0.4905	Time 4 - Statistic=0.8670, p-value=0.2859
Time 5 Statistic=0.8304, p-value=0.1690	Time 5 - Statistic=0.8008, p-value=0.1036
RES-Knowledge:	RES Knowledge:
Time 1 Statistic=0.9526, p-value=0.7325	Time 1 - Statistic=0.7670, p-value=0.0550
Time 2 Statistic=0.9766, p-value=0.8816	Time 2 - Statistic=0.9430, p-value=0.6728
Time 3 Statistic=0.7572, p-value=0.0450	Time 3 - Statistic=0.9042, p-value=0.4524
Time 4 Statistic=0.8169, p-value=0.1361	Time 4 - Statistic=0.8816, p-value=0.3455
Time 5 Statistic=0.9014, p-value=0.4379	Time 5 - Statistic=0.8749, p-value=0.3172

Abbildung 73. Shapiro-Wilk-Test Ergebnisse bei Nutzergruppe
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

Auch die Ergebnisse pro Nutzergruppe zeigen, dass nicht alle Aufgaben einer Normalverteilung entsprechen. Aus diesem Grund werden nicht-parametrische Methoden verwendet, da bei diesen keine Normalverteilung der Daten vorausgesetzt wird.

In diesem Fall wird der Wilcoxon signed-rank Test für gepaarte Stichproben verwendet. (vgl. Mishra et al., 2019:299)

Im Folgenden werden die Null und die alternative Hypothese nach Barton & Peat (2014:8) für den Wilcoxon Test formuliert, um den Einfluss der Nutzung der beiden Geodashboards auf die Bearbeitungszeiten der Aufgaben zu bewerten:

- Nullhypothese (H_0): Es gibt keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Bearbeitungszeiten der Geodashboards.
- Alternative Hypothese (H_a): Es gibt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Bearbeitungszeiten der Geodashboards.

```

Wilcoxon Test
Time 1: Statistic = 32.0, p-value = 0.6221
Time 2: Statistic = 32.0, p-value = 0.6221
Time 3: Statistic = 11.0, p-value = 0.0505
Time 4: Statistic = 28.0, p-value = 0.4238
Time 5: Statistic = 24.5, p-value = 0.3013

```

Abbildung 74 Ergebnisse des Wilcoxon signed-rank Test für alle Gruppen
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

In Abbildung 74 wird deutlich, dass alle p-Werte größer als 0,05 sind, was darauf hinweist, dass die Nullhypothese nicht verworfen werden kann. Dies bedeutet, dass es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geodashboards in Bezug auf die Bearbeitungszeiten der Aufgaben gibt. Beide Systeme ermöglichen es den Nutzern, die Aufgaben in vergleichbarer Zeit zu erledigen, was auf eine ähnliche Effizienz der Geodashboards hinweist.

Auffällig ist jedoch, dass der p-Wert für die Bearbeitungszeit von Aufgabe 3 nahe an der Grenze von 0,05 liegt. Obwohl dieser Wert statistisch nicht signifikant ist, könnte dies auf einen potenziellen Unterschied zwischen den beiden Systemen in Bezug auf die Zeit für diese spezifische Aufgabe hindeuten. Möglicherweise würde eine größere Stichprobe oder eine detailliertere Analyse diesen Unterschied deutlicher zeigen.

Zusätzlich wurde für jede Nutzergruppe der Wilcoxon-Test durchgeführt (siehe Abbildung 75), um die Unterschiede in den Bearbeitungszeiten zwischen den Geodashboards weiter zu untersuchen.

```
Wilcoxon Test - Novices Group
Time 1: Statistic = 0.0, p-value = 0.1250
Time 2: Statistic = 2.0, p-value = 0.3750
Time 3: Statistic = 0.0, p-value = 0.1250
Time 4: Statistic = 3.0, p-value = 0.6250
Time 5: Statistic = 3.0, p-value = 0.6250
Wilcoxon Test - GIS-Knowledge Group
Time 1: Statistic = 0.0, p-value = 0.1250
Time 2: Statistic = 1.0, p-value = 0.2500
Time 3: Statistic = 4.0, p-value = 0.8750
Time 4: Statistic = 2.0, p-value = 0.3750
Time 5: Statistic = 5.0, p-value = 1.0000
Wilcoxon Test - RES-Knowledge Group
Time 1: Statistic = 2.0, p-value = 0.3750
Time 2: Statistic = 2.0, p-value = 0.3750
Time 3: Statistic = 4.0, p-value = 0.8750
Time 4: Statistic = 5.0, p-value = 1.0000
Time 5: Statistic = 4.0, p-value = 0.8750
```

Abbildung 75. Ergebnisse des Wilcoxon signed-rank Test bei Nutzergruppe
Quelle: Eigene Darstellung mit Python

Auch bei dieser Analyse ergaben sich keine p-Werte, die kleiner als 0,05 sind, was darauf hindeutet, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede in den einzelnen Gruppen vorhanden sind.

➤ Subjektive Nutzer Präferenzen

Im Folgenden erfolgt die Darstellung der subjektiven Einschätzungen der Nutzer, welche in der Post-Test-Umfrage erfasst wurden. In einem ersten Schritt erfolgt eine Analyse der Präferenz der Nutzer hinsichtlich der Verwendung eines Geodashboards (mit oder ohne Karte) zur Erledigung der Aufgaben. Zudem wird untersucht, welche Faktoren diese Präferenz begründen. Im Anschluss erfolgt eine Auswertung der Antworten auf sechs Fragen in Form einer Likert-Skala, welche verschiedene Aspekte der Nutzererfahrung beleuchtet.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Präferenz für das Geodashboard mit Karte. Insgesamt gaben 67% der Teilnehmer an, dass sie sich mit diesem wohler fühlten, um die Aufgaben zu ergänzen, während nur 33% die Version ohne Karte, Geodashboard B, bevorzugten. (siehe Abbildung 76)

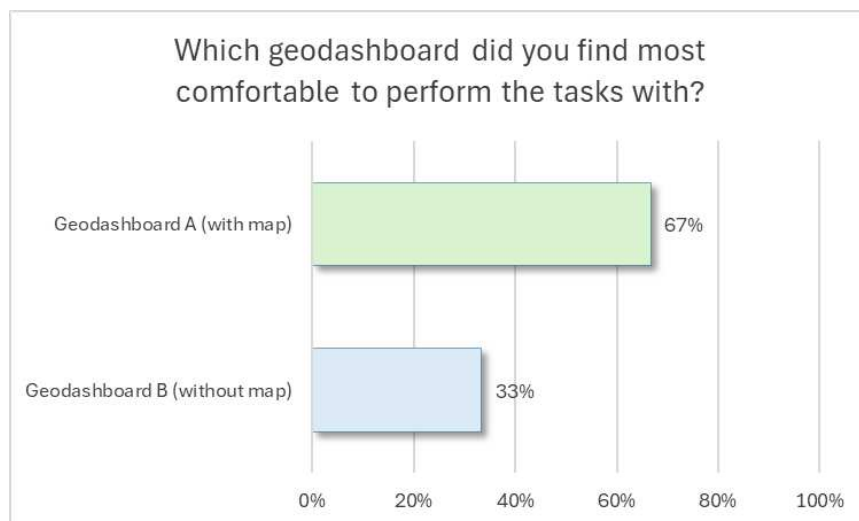


Abbildung 76. Benutzerpräferenzen nach Geodashboard-Typ
Quelle: Eigene Darstellung

Die deutlich geringere Präferenz für das Geodashboard B, das keine Karte enthält, zeigt, dass die Mehrheit der Nutzer Karten als nützliches Werkzeug zur Visualisierung und Analyse räumlicher Daten einschätzt.

Unter den 33 % der Befragten, die das Geodashboard B präferierten, befanden sich zwei unerfahrene, ein Nutzer mit Res-Kenntnissen und ein weiterer Nutzer mit GIS-Kenntnissen. Was darauf hindeutet, dass es Nutzer gibt, die eine weniger visuelle, einfachere Darstellung bevorzugen.

Zusätzlich wurden die Teilnehmer*innen gefragt, aus welchen Gründen sie sich für ihr bevorzugtes Geodashboard entschieden haben, nachdem sie die Aufgaben mit beiden Versionen abgeschlossen hatten. Die Analyse des erhaltenen Feedbacks zeigt, dass bestimmte Schlüsselwörter häufig wiederholt wurden. Die folgende Abbildung zeigt eine Wortwolke, welche diese Begriffe verdeutlicht. Diese Wortwolke wurde mit der Online-Open-Source-Software FreeWordCloudGenerator.com erstellt. (siehe Abbildung 77)



Abbildung 77. Wordcloud des Nutzer*innen Feedbacks.
 Quelle: Eigene Darstellung. Erstellt mit FreeWordCloudGenerator

Die Analyse der Wortwolke lässt erkennen, dass die Begriffe "easy" und "easier" eine hohe Frequenz aufweisen, was darauf hindeutet, dass die einfache Nutzung sowie die intuitive Bedienbarkeit der Geodashboards als zentrale Faktoren bei der Auswahl angesehen werden.

Die Begriffe „countries“ und „compare“ unterstreichen die Bedeutung der Möglichkeit, verschiedene Länder miteinander zu vergleichen. Diese Möglichkeit ist nicht nur entscheidend für die geografische Analysis, sondern fördert auch eine tiefere Untersuchung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Daten.

Darüber hinaus weisen die Begriffe „useful“ und „helpful“ darauf hin, dass Karten die Nutzer*innen unterstützen, komplexe Informationen leichter zu verstehen. Die Erwähnung geographischer Begriffe wie „western“, „eastern“, „northern“ und „southern“ verdeutlicht die Bedeutung geographischer Kontexte, insbesondere im Hinblick auf die Analyse von Daten in Bezug auf verschiedene Regionen, was vor allem für die Beantwortung der Frage 3 (Vergleich) der beiden Geodashboards von Bedeutung war.

In Bezug auf die Nutzer*innen, die das Geodashboard ohne Karte bevorzugten, fanden diese, dass diese Version für die Analyse eines einzelnen Länderprofils besser geeignet ist, da sie einen konkreten Überblick bietet, der keinen geografischen Kontext erfordert.

Es wurde auch darauf hingewiesen, dass während Diagramme effektiv Veränderungen aufzeigen können, Karten einen wertvollen geografischen Kontext bieten, insbesondere bei vergleichenden Analysen. In Situationen, in denen die Bearbeitungszeit kein kritischer Faktor ist, könnte die Integration beider Ansätze eine umfassendere Analyse unterstützen.

Kurz gesagt, Nutzer*innen, welche das Geodashboard ohne Karte bevorzugten, empfanden diese es als effektiv für schnelle Analysen, während die Kombination mit Karten die Interpretation der Daten durch Hinzufügen einer relevanten geografischen Dimension erweitern könnte.

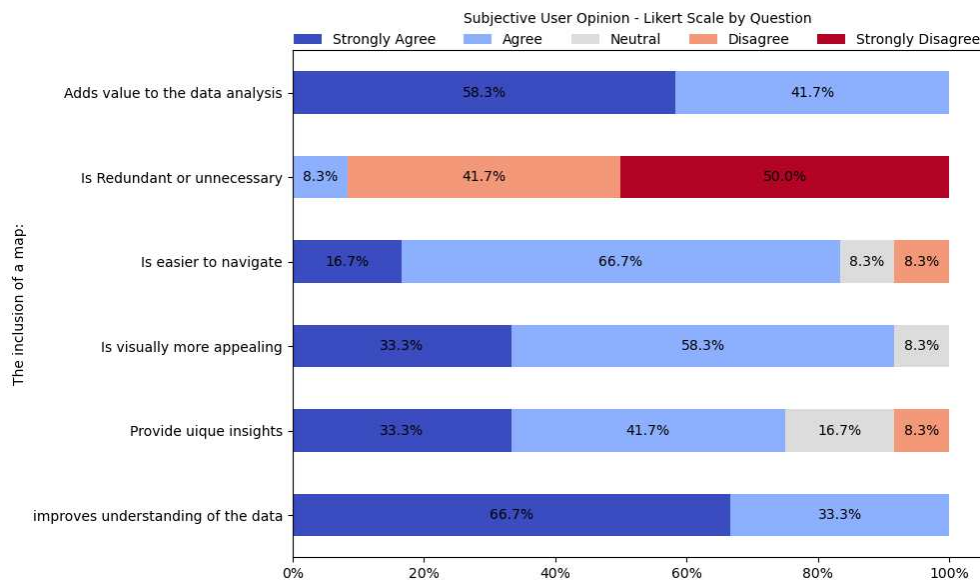


Abbildung 78. Likert Scale Questions.
Quelle: Eigene Darstellung. Erstellt mit Python

Die Analyse der Wahrnehmungen der Nutzer*innen in Bezug auf die Einbeziehung einer Karte in das Geodashboard zeigt eine überwiegend positive Reaktion. Alle Teilnehmer*innen sind sich einig, dass die Einbeziehung einer Karte in das Geodashboard das Verständnis der Daten verbessert. Außerdem sind alle Befragten der Ansicht, dass die Karte auf dem Dashboard einen erheblichen Mehrwert für die Analyse der Daten darstellt.

Im Hinblick auf die Frage, ob das Dashboard als redundant oder überflüssig empfunden wird, stimmten nur 8,33 % der Teilnehmer (mit RES-Kenntnissen) dieser Aussage zu, während 91,67 % dagegen stimmten. Dies deutet darauf hin, dass die Mehrheit der Benutzer*innen die Funktion der Karte als notwendig und wertvoll erachtet.

Die visuelle Attraktivität des Dashboards erhält ebenfalls eine positive Bewertung. 33.3 % der Befragten stimmen ganz zu und 66.7% stimmen zu, dass es visuell ansprechend ist. Nur ein Anteil von 8,33 % bleibt in Bezug auf diese Aussage neutral. Diese sind wiederum aus der Gruppe mit RES-Kenntnissen.

Zudem sind 75% der Befragten der Meinung, dass das Geodashboard mit Karte einzigartige Informationen liefert. 16,67 % der Teilnehmer*innen haben sich jedoch neutral zu dieser Aussage geäußert und 8,33 % (mit GIS-Kenntnissen) stimmen diese Aussage nicht zu.

Was die Navigation betrifft, finden 83,34 % der Benutzer*innen, dass das Geodashboard leicht zu navigieren ist. Dennoch stimmten 8,33 % der Teilnehmer*innen dem jedoch nicht zu, was darauf hindeutet, dass es Aspekte der Benutzeroberfläche gibt, die verbessert werden sollten, um ein zufriedenstellendes Erlebnis zu gewährleisten.

Zusammenfassend wird das Geodashboard mit Karte in den meisten Dimensionen positiv bewertet. Diese Meinung aus der Teilnehmer Perspektive deutet darauf hin, dass das Dashboard in Kombination mit der visuellen Komponente der Karte die Informationen wirksam präsentiert. Dies verdeutlicht, dass die visuelle Unterstützung durch eine Karte als entscheidend für das Verständnis der dargestellten Informationen angesehen wird.

5 Beantwortung der Forschungsfragen

Im Verlauf dieser Masterarbeit wurden die relevanten Themen behandelt, um die gestellten Forschungsfragen zu beantworten. In diesem Kapitel werden die Antworten der Arbeitsfragen zusammengefasst und die Hypothesen und die Forschungsfrage beantwortet.

- **F1.** *Welche Faktoren und Merkmale sollen berücksichtigt werden, um die Verständlichkeit und Nutzbarkeit von Geodashboards sowie die effektive Analyse und Interpretation von (Geo-)Daten durch unterschiedliche Nutzergruppen zu gewährleisten?*

Auf diese Frage gibt es nicht eine endgültige und einzelne Antwort. Es hängt vom Kontext, den spezifischen Anforderungen der Nutzergruppen und den Zielen des (Geo-)Dashboards ab.

Es gibt jedoch bestimmte Schlüsselfaktoren, die berücksichtigt werden sollten, um die Verständlichkeit und Nutzbarkeit von (Geo-)Dashboards für verschiedene Nutzergruppen zu gewährleisten. Es wurden in der Literatur Schlüsselfaktoren identifiziert und in 3 Gruppen unterteilt: Faktoren in Bezug auf die Nutzer, die Designer und die spezifischen Merkmale des (Geo-)Dashboards.

Die nutzerbezogenen Faktoren betreffen die analytischen Fähigkeiten, Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung der Nutzer*innen, welche die Fähigkeit zur Interpretation komplexer Informationen beeinflussen.

Das Design sollte diese Bedürfnisse berücksichtigen, deswegen spielen auch designbezogene Faktoren eine zentrale Rolle. Ein durchdachtes Design trägt wesentlich zur Effektivität und Benutzerfreundlichkeit eines (Geo-)Dashboards bei. Eine klare Struktur, welche gewährleistet, dass wichtige Daten schnell und einfach zugänglich sind, kann durch die Berücksichtigung vorbewusster Merkmale wie Farben, Formen, Größen etc. sowie durch die Organisation in Einheiten oder "Chunks" erreicht werden.

Dadurch wird die begrenzte Kapazität des Gedächtnisses optimiert. Zudem trägt der Einsatz dieser Techniken zusammen mit Visuellen- und Wahrnehmungstheorien dazu bei, dass wichtige Informationen hervorgehoben werden, ohne dass die Nutzer aktiv danach suchen müssen.

Schließlich sind die spezifischen Merkmale des (Geo-)Dashboards von entscheidender Bedeutung. Hier wurde eine Unterteilung in fünf Gruppen vorgeschlagen: Kommunikation und Datenauswahl, Dashboard-Layout, visuelle Präsentation/Design, Visualisierungen und Interaktivität und funktionale Elemente. Diese beeinflussen direkt die Benutzerfreundlichkeit, Zugänglichkeit und Verständlichkeit der Daten.

Die Qualität und Integrität der Daten sowie die Kommunikation der Daten sind entscheidend, um die Nutzer*innen mit verlässlichen und wichtigen Informationen zu versorgen. Ein gut durchdachtes Dashboard-Layout erleichtert die Navigation und hilft, sich in der Datenstruktur zurechtzufinden. Die visuelle Präsentation lenkt die Aufmerksamkeit auf die relevanten Informationen und hilft dabei, eine kognitive Überlastung der Nutzer*innen zu vermeiden. Die Visualisierungen ermöglichen komplexe Daten auf eine

anschauliche und verständliche Weise darzustellen. Zuletzt ermöglichen Interaktivität und funktionale Elemente die Nutzer*innen Daten zu erkunden und Analysen nach ihren individuellen Bedürfnissen anzupassen.

Kontinuierliches Feedback von den Nutzer*innen und iterative Verbesserungen sind ebenfalls unerlässlich, um die Effektivität und Benutzerfreundlichkeit der Geodashboards sicherzustellen.

Die spezifischen Details und Anforderungen hängen jedoch stark vom Kontext der Nutzung ab, einschließlich des Zwecks des (Geo-)Dashboards und der Bedürfnisse der Nutzer*innen.

- **F2.** *Inwiefern beeinflussen interaktive Karten in Geodashboards die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Entscheidungsfindung im Vergleich zu Dashboards ohne eine kartographische Komponente?*

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass interaktive Karten in Geodashboards zwar die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Entscheidungsfindung beeinflussen, dieser Einfluss jedoch stark von der jeweiligen Nutzergruppe und dem Aufgabentyp abhängt.

In diesem Fall zeigten die Ergebnisse, dass unerfahrene Nutzer besonders stark von der kartographischen Darstellung profitierten. Durch die geografische visuelle Unterstützung konnten sie komplexe Informationen effizienter verarbeiten und sowohl schneller als auch präziser Entscheidungen treffen.

Für die Gruppe mit GIS-Kenntnissen wurde die Vergleichsaufgabe (Aufgabe 3) mit der Karte genauer bearbeitet. Bei anderen Aufgaben arbeiteten sie jedoch schneller ohne die Karte, wobei die Erfolgsquote in beiden Fällen ähnlich war.

Im Gegensatz dazu verzeichneten die Teilnehmer*innen mit Kenntnissen über erneuerbare Energien (RES) praktisch keinen Geschwindigkeitsvorteil mit der Karte. Diese Gruppe war am stärksten in der Lage, mit beiden Geodashboards genauere und effizientere Entscheidungen zu treffen, allerdings waren sie ohne die Karte schneller.

Jedoch, bei der statistischen Analyse der Geodashboards hinsichtlich der Bearbeitungszeit pro Aufgabe und der Erfolgsquoten konnte keine statistisch signifikante Differenz zwischen den Dashboards mit und ohne Karte festgestellt werden.

Das deutet darauf hin, dass die Verwendung von Karten zwar für bestimmte Benutzergruppen von Vorteil sein kann und einen Mehrwert in Geodashboards darstellt, dieser Vorteil jedoch in diesem Fall nicht verallgemeinert werden kann, da seine Signifikanz nicht ausreichend war, um sich in den analysierten Metriken widerzuspiegeln.

Dies könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, wie zum Beispiel die Ähnlichkeit der Aufgaben oder die Größe der Stichprobe. Möglicherweise würde sich der Effekt stärker zeigen, wenn die Stichprobengröße erhöht würde. Diese möglichen Erklärungen werden im Kapitel 6 „Diskussion“ ausführlicher behandelt.

- **F3.** *In welchem Ausmaß unterscheiden sich die Benutzerpräferenzen zwischen Dashboards mit und ohne Kartenkomponente?*

Die Unterschiede in den Benutzerpräferenzen zwischen Dashboards mit und ohne Kartenkomponente sind deutlich. Die Ergebnisse zeigen eine klare Präferenz für das Geodashboard mit Karte.

Die Nutzer empfanden es als intuitiver und übersichtlicher. Zudem wurde es als nützlicher und hilfreicher wahrgenommen, insbesondere für Aufgaben, die Analysen erfordern, die mehr als ein Land betreffen, wie zum Beispiel Vergleiche, Assoziationen oder Zusammenhänge.

Die Minderheit der Nutzer*innen, die sich bei der Erledigung der Aufgaben mit dem Geodashboard ohne Karte wohler fühlte, schätzte die Einfachheit dieser Darstellung und die Schnelligkeit der Datenübersicht. Allerdings gaben sie zu, dass der Einsatz einer Karte bei ausreichend Zeit ein tiefergehendes Analysepotenzial bietet. Sie wiesen darauf hin, dass es vorteilhaft wäre, die Möglichkeit zu haben, zwischen beiden Optionen (mit und ohne Karte) wählen zu können, um je nach Bedarf die am besten geeignete Darstellungsform zu nutzen.

- *FF. Wie beeinflusst die Integration von interaktiven Karten in (Geo-)Dashboards im Vergleich zu Geodashboards ohne Kartenkomponente die Performance, das Verständnis und die Analyse von (Geo-)Daten?*

Obwohl in dieser Masterarbeit keine statistisch signifikante Verbesserung der Performance zwischen dem Geodashboard mit und ohne Karte festgestellt werden konnte, zeigt sich, dass die Integration interaktiver Karten in Geodashboards dennoch die Performance, das Verständnis sowie die Analyse von Geodaten beeinflussen und verbessern kann. Die konkreten Auswirkungen hängen jedoch von den Eigenschaften der Nutzergruppen und der Art der Aufgaben ab, welche mit dem Geodashboard durchgeführt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die kartografische Darstellung von Geodaten im Vergleich zu Dashboards ohne Kartenkomponente eine intuitivere Erkennung räumlicher Muster ermöglicht, insbesondere für weniger erfahrene Nutzer. Diese kartografische Unterstützung hilft ihnen, räumliche Beziehungen schneller zu erfassen was zu einem besseren Verständnis und einer genaueren Analyse führt. Dies ist besonders bei Aufgaben hilfreich, welche direkt oder stark von geografischen oder räumlichen Daten abhängen.

Erfahrene GIS- und RES-Nutzer hingegen, die bereits über Kenntnisse in der Datenanalyse verfügen, profitierten in diesem Fall weniger von der Kartenkomponente. Ihre Vertrautheit mit Datenstrukturen und räumlichen Zusammenhängen ermöglicht es ihnen möglicherweise auch ohne zusätzliche visuelle Unterstützung effizient zu arbeiten. Dennoch bietet die interaktive Visualisierung auch für Experten zusätzliche Möglichkeiten für tiefere Analysen, insbesondere wenn der räumliche Kontext der Daten zentral ist.

Diese Erkenntnisse deuten darauf hin, dass interaktive Karten nicht immer die Effizienz der Datenanalyse erhöhen. Dies widerspricht teilweise der ursprünglichen Hypothese, dass *die Einbeziehung von Karten in Geodashboards, welche hierfür geeignet sind, die Effektivität und Effizienz der Datenvisualisierung und des Analyseprozesses im Vergleich zu Geodashboards ohne Karten verbessert*. Die Ergebnisse legen nahe, dass Karten in Geodashboards nur dann eine entscheidende Rolle spielen, wenn der räumliche Kontext für die Dateninterpretation zentral ist oder die Nutzer weniger geübte Datenanalysten sind, die von der visuellen Unterstützung profitieren.

6 Diskussion

Im vorliegenden Kapitel werden zentrale Erkenntnisse diskutiert und Möglichkeiten für zukünftige Forschungsarbeiten vorgestellt:

- **Vertiefung spezifischer Faktoren und Merkmale in der Literatur.** Zukünftige Forschung könnte sich auf die weitere Untersuchung und Erforschung der spezifischen Faktoren und Merkmale konzentrieren, die die Nutzererfahrung und die Effektivität von Geodashboards beeinflussen.
- **Weitere Domänen.** Die vorliegende Methodologie könnte auf andere Kontexte und Domänen angewendet werden, um verschiedene Anwendungsbereiche zu analysieren. Insbesondere bei domänenspezifischen Dashboards, die komplexe Daten visualisieren, könnte ein ähnlicher Bewertungsansatz angewandt werden, um herauszufinden, wie verschiedene Nutzergruppen von Geo-Dashboards mit oder ohne Karte profitieren können.
- **Dokumentation und Anleitung.** Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen nahe, dass eine gute Dokumentation und klare Anweisungen für die Nutzer von Geodashboards von großer Bedeutung sind. Nach den Pilottests wurden signifikante Verbesserungen bei der Effizienz und Effektivität der Benutzer bei der Erledigung der Aufgaben festgestellt, wenn den Teilnehmern detaillierte Anweisungen gegeben wurden. Diese Erkenntnis zeigt, dass Nutzer durch detaillierte Anleitungen und hilfreiche Informationen besser in der Lage sind, die Funktionen der Geodashboards effektiv zu nutzen.
- **Hybride Lösung.** Die Möglichkeit zur Wahl zwischen einer kartenbasierten und einer kartenlosen Darstellung könnte eine Lösung sein, die verschiedene Nutzergruppen anspricht und könnte die Attraktivität, Effizienz und Effektivität von Geodashboards erhöhen. Eine hybride Lösung würde es den Nutzern ermöglichen, sowohl die präzisen geographischen Beziehungen als auch die zugrunde liegenden statistischen Daten in einer Weise zu analysieren, die ihrer persönlichen Präferenzen und dem jeweiligen Analyseziel entspricht.
- **Größere Stichproben und detaillierte Analysen.** Um die Aussagekraft der Forschung zu erhöhen, sollten zukünftige Studien größere Stichproben und detailliertere Analysen umfassen. Eine der Einschränkungen der vorliegenden Untersuchung war die relativ kleine Stichprobengröße, welche die statistische Signifikanz bestimmter Ergebnisse möglicherweise beeinträchtigt hat. Eine größere Stichprobe könnte in zukünftigen Studien helfen, diese Unterschiede zwischen den Geodashboards deutlicher herauszustellen. Zudem würde eine detailliertere Analyse unter Einbeziehung einer breiteren Nutzerbasis eine stärkere Validierung der Ergebnisse ermöglichen und möglicherweise zu einer differenzierteren Betrachtung der Stärken der jeweiligen Systeme führen.

7 Zusammenfassung und Conclusio

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Integration interaktiver Karten in Geodashboards und untersucht deren Einfluss auf das Verständnis und die Analyse von Geodaten im Vergleich zu Geodashboards ohne kartographische Komponenten für verschiedene Nutzergruppen.

Zu Beginn der Arbeit wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um eine theoretische Grundlage zu nutzer- und designerbezogenen Faktoren sowie spezifischen Merkmalen für die Gestaltung erfolgreicher Geodashboards zu schaffen. Hierbei wurde deutlich, dass ein optimales Geodashboard zahlreiche Elemente wie Datenqualität, Layout, visuelle Darstellung, Visualisierungen und Interaktivität berücksichtigen muss. Obwohl es nicht möglich ist, allgemeingültige Merkmale für den Erfolg eines Geodashboards zu bestimmen, da dieser von spezifischen Anforderungen, Zielsetzungen sowie den individuellen Vorkenntnissen und Fähigkeiten der Nutzer*innen abhängt, bietet diese Arbeit eine Reihe von Empfehlungen, die als Leitfaden für die Gestaltung benutzerfreundlicher und effektiver Geodashboards dienen können.

Im Praktischen Teil der Untersuchung wurden empirische Tests mit 15 Teilnehmern*innen aus unterschiedlichen beruflichen und akademischen Hintergründen durchgeführt, welche in drei Gruppen unterteilt wurden: Personen mit GIS-Kenntnissen, Personen mit Kenntnissen im Bereich erneuerbarer Energien (RES) und Personen ohne GIS- oder RES-Vorkenntnissen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden alle Teilnehmer*innen mit zwei Prototypen von Geodashboards konfrontiert, wobei einer der Prototypen eine interaktive Karte beinhaltete, während der andere keine Karte aufwies. Die Teilnehmer*innen wurden gebeten, spezifische Aufgaben zu bewältigen, die jeweils unterschiedliche Aspekte der Nutzung und Verständlichkeit von Geodaten betrafen. Die gemessenen Parameter umfassten die Bearbeitungszeit, die Genauigkeit sowie die subjektiven Präferenzen der Nutzer.

Die Ergebnisse der empirischen Studie zeigen, dass insbesondere die Gruppe ohne Vorkenntnisse in GIS oder RES von der Integration einer Karte profitierte. Die Teilnehmer dieser Gruppe konnten die gestellten Aufgaben mit der kartographischen Komponente schneller und präziser lösen.

Bei den Gruppen mit GIS- und RES-Kenntnissen fielen die Ergebnisse gemischt aus: Beide Gruppen erzielten in den meisten Fällen kürzere Bearbeitungszeiten, wenn keine Karte vorhanden war, außer wenn geografische Zusammenhänge eine direkte Rolle spielten, wie zum Beispiel bei Fragen nach Nord- und Südländern. Die statistischen Analysen ergaben jedoch, dass es keine signifikanten Unterschiede weder in der Erfolgsquote noch in den Bearbeitungszeiten zwischen den beiden Geodashboards gab.

Hinsichtlich der subjektiven Präferenzen zeigte sich, dass obwohl das Dashboard ohne Karte teilweise bessere Erfolgsquoten aufwies, bevorzugte die Mehrheit der Teilnehmer das Geodashboard mit Karte. Es wurde als attraktiver und unterstützender wahrgenommen und als nützliches Werkzeug zur räumlichen Datenanalyse geschätzt. Diese positive Bewertung deutet darauf hin, dass die visuelle Komponente der Karte wesentlich zur Verständlichkeit der dargestellten Informationen beiträgt und somit als hilfreich empfunden wird.

Zukünftige Entwicklungen von Geodashboards sollten daher die Forschung zur Integration kartografischer Elemente fortsetzen, um die Vorteile der geografischen Visualisierung weiter zu maximieren. Wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, profitieren insbesondere unerfahrene Nutzer am meisten von der Integration interaktiver Karten, da diese das Verständnis der dargestellten Informationen erleichtern. Diese Verbesserung kann dazu beitragen, komplexe Themen wie erneuerbare Energien für ein breiteres Publikum zugänglicher zu machen. Durch eine Vertiefung des Verständnisses und eine Verbreitung des Wissens über diese Technologien kann eine Steigerung des Bewusstseins für deren Vorteile erreicht werden. Dies fördert letztlich eine größere Akzeptanz und Unterstützung nachhaltiger Praktiken und trägt dazu bei, die Bedeutung erneuerbarer Energien einer breiten Öffentlichkeit näherzubringen. Diese Ansätze könnten ebenfalls in anderen Branchen und andere Themen Anwendung finden.

Gleichzeitig ist es wichtig, dass das Design der Dashboards flexibel bleibt, um den unterschiedlichen Bedürfnissen, Vorkenntnissen und Fähigkeiten der Nutzer gerecht zu werden. Eine hybride Lösung, bei der Nutzer*innen die Option haben, die Karte je nach Bedarf ein- oder auszublenden, könnte hierbei besonders vorteilhaft sein.

Ein solches hybrides Geodashboard ermöglicht es den Nutzern*innen, selbst zu entscheiden, ob sie die kartografische Darstellung für eine bestimmte Aufgabe benötigen, was sowohl Erfahrenen als auch unerfahrenen Nutzern*innen eine individuell anpassbare Benutzererfahrung bietet. So können geografische Informationen bei Bedarf visualisiert werden, ohne dass die Übersichtlichkeit des Dashboards für Aufgaben ohne raumbezogene Relevanz beeinträchtigt wird.

8 Literatur

- Academy FH Technikum Wien (2023): Was ist Data Warehouse? <https://academy.technikum-wien.at/ratgeber/was-ist-ein-data-warehouse/> (20.07.2023).
- Ackoff, R. (1989): From Data to Wisdom. In: Journal of Applied Systems Analysis, 16, 3–9.
- Advance Metrics (2018): Das perfekte digitale Marketing-Dashboard. Advance Metrics AG. <https://www.advance-metrics.com/de/blog/das-perfekte-digitale-marketing-dashboard/> (14.05.2024).
- Agile Analytics (2024): Healthcare Analytics - Power BI dashboards - Agile Analytics Australia. Healthcare Dashboards - Live Demo. <https://www.agile-analytics.com.au/power-bi-solutions/healthcare-analytics/> (22.02.2024).
- Aldrich, F. K., & Sheppard, L. (2000): „Graphicacy“: the fourth „R“? In: Primary Science Review, 64(1), Art. 64. <https://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/LME/betrancourt/aldrich2000.pdf> (06.10.2023).
- Alsayahani, H. (2023): Overcoming Customisation Challenges in Information Dashboards. In: UMAP '23: Proceedings of the 31st ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, 285–289. <https://doi.org/10.1145/3565472.3595646>.
- Andrienko Gennady, Andrienko Natalia, & Weibel Robert. (2017): Geographic Data Science. In: IEEE Computer Graphics and Applications, 37(5), 15–17. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8047433> (11.03.2024).
- Assecor GmbH (2024): Einfach erklärt: Was ist ein Backend? Backend. <https://www.assecor.de/glossar/backend> (11.02.2024).
- AWS (Amazon Web Services) (2023): What is an API? - Application Programming Interface Explained. <https://aws.amazon.com/what-is/api/> (15.11.2024).
- Barton, B., & Peat, J. (2014): Descriptive statistics. In Medical Statistics: A Guide to SPSS, Data Analysis and Critical Appraisal (2. Aufl., S. 24–51): John Wiley & Sons. Auch online unter: <http://digilib.unkhair.ac.id/578/1/Medical%20Statistics%20%28%20PDFDrive%20%29OK.pdf> (21.09.2024).
- Bauerfeind, F. (2024): Vergleich der Self-Service BI-Tools. Keyplayer im Fokus: Power BI vs. Tableau. <https://www.taod.de/blog/power-bi-vs-tableau> (12.03.2024).
- Bellinger, G. (2004): Knowledge management—Emerging perspectives. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/datos-informaci%C3%B3n.pdf> (19.10.2023).

- Bellinger, G., Castro, D., & Mills, A. (2004): Data, Information, Knowledge, & Wisdom. Systems Thinking „A journey in the realm of systems“. <https://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>. (14.08.2023).
- Berners-Lee, T. (1998): Semantic Web Road map. <https://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html> (03.11.2023).
- Bill, R., Blankenbach, J., Breunig, M., Haunert, J. H., Heipke, C., Herle, S., Maas, H. G., Mayer, H., Meng, L., Rottensteiner, F., Schiewe, J., Sester, M., Sörgel, U., & Werner, M. (2022): Geospatial Information Research: State of the Art, Case Studies and Future Perspectives. In: PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 90(4), 349–389. <https://doi.org/10.1007/S41064-022-00217-9/FIGURES/3>.
- Bleisch, S., & Dykes, J. (2015): Quantitative data graphics in 3D desktop-based virtual environments – an evaluation. In: International Journal of Digital Earth, 8(8), 623–639. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.927536>.
- Blockchain Council (2023): Web 3.0 vs. Metaverse: A detailed comparison [UPDATED]. Web 3.0 vs. Metaverse: A detailed comparison [UPDATED]. <https://www.blockchain-council.org/metaverse/web-3-0-vs-metaverse/> (04.11.2023).
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (o. J.): Energiewende. Forschung - Energiewende und nachhaltiges Wirtschaften. - Deutschland. https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/energiewende/energiewende_node.html (24.03.2024).
- Börner, K., Maltese, A., Balliet, R. N., & Heimlich, J. (2016): Investigating aspects of data visualization literacy using 20 information visualizations and 273 science museum visitors. In: Information Visualization, 15(3), 198–213. <https://doi.org/10.1177/1473871615594652>.
- Bostock, M., & Observable (2023): What is D3? What is D3?. <https://d3js.org/what-is-d3> (17.11.2023).
- Burgstaller, L. J. (2017): „Story Maps“ und ihr Potential in der Web-Kartographie. Masterarbeit - Master of Science (MSc), Universität Wien. DOI: 10.25365/thesis.45906 (21.11.2023).
- Campesato, O. (2023): Statistics Using Python. In Statistics Using Python. Mercury Learning and Information. – Berlin und Boston. <https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1515/9781683928799>.
- Cedric Io, I. (2024): Retail Analytics Dashboard. Tableau Public. https://public.tableau.com/app/profile/cedric130813/viz/RetailAnalyticsDashboard_17085252526100/RetailDashboard (26.03.2024).

- Chevallier, E. (2022): Hivemapper announced as the Google Maps of Web 3.0. In: M2050 by Lyko. <https://m2050.media/en/hivemapper-announced-as-the-google-maps-of-web-3-0/> (05.11.2023).
- Chilton, S., & Chilton, S. (2013): 2B.1 | Is there a new cartography? (#246): In M. F. Buchroithner (Hrsg.), 26 International Cartographic Conference (S. 52–52): International Cartographic Association. https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/ICC2013_Proceedings.pdf (19/01/2024).
- Choudhury, N. (2014): World Wide Web and Its Journey from Web 1.0 to Web 4.0. In: International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT), 6(6), 8096–8100. <https://ijcsit.com/docs/Volume%205/vol5issue06/ijcsit20140506265.pdf> (03.11.2023).
- Çöltekin, A., Bleisch, S., Andrienko, G., & Dykes, J. (2017): Persistent challenges in geovisualization—a community perspective. In: International Journal of Cartography, 3(sup1), 115–139. <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1302910>.
- Çöltekin, A., Griffin, A. L., Slingsby, A., Robinson, A. C., Christophe, S., Rautenbach, V., Chen, M., Pettit, C., & Klippel, A. (2020): Geospatial Information Visualization and Extended Reality Displays. In H. Guo, M. F. Goodchild, & A. Annoni (Hrsg.), Manual of Digital Earth (S. 229–277): Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3>.
- Coltekin, A., Pettit, C., & Wu, B. (2015): Geovisual analytics: human factors. In: International Journal of Digital Earth, 8(8), 595–598. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1047173>.
- Curcio, F. R. (1987): Comprehension of Mathematical Relationships Expressed in Graphs. In: Journal for Research in Mathematics Education, 18(5), 382. <https://doi.org/10.2307/749086>.
- DATAtab Team (2024): DATAtab: Online Statistics Calculator. Deskriptive und Inferenz Statistik. <https://datatab.de/tutorial/deskriptive-inferenz-statistik>. <https://datatab.de/tutorial/deskriptive-inferenz-statistik> (28.09.2024).
- Doelker, C. (2010): Visuelle Kompetenz Beiträge des interfakultären Forums Innsbruck Media Studies Erklärungen. In T. Hug & A. Kriwak (Hrsg.), Visuelle Kompetenz – Grundzüge der Bildsemantik (S. 9–27): Innsbruck University Press. https://mediarep.org/bitstream/handle/doc/15846/Hug_Kriwak_2011_Visuelle-Kompetenz.pdf?sequence=1&isAllowed=y (01.10.2023).
- Dong, E., Ratcliff, J., Goyea, T. D., Katz, A., Lau, R., Ng, T. K., Garcia, B., Bolt, E., Prata, S., Zhang, D., Murray, R. C., Blake, M. R., Du, H., Ganjkanloo, F., Ahmadi, F., Williams, J., Choudhury, S., & Gardner, L. M. (2022): The Johns Hopkins University

Center for Systems Science and Engineering COVID-19 Dashboard: data collection process, challenges faced, and lessons learned. *The Lancet Infectious Diseases*, 22(12), e370–e376. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(22\)00434-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(22)00434-0).

Dykes, J., MacEachren, A. M., & Kraak, M.-J. (2005): Exploring Geovisualization - A volume in International Cartographic Association. In Elsevier Ltd. Auh online unter: <https://books.google.at/books?id=gUza-nsEwioC>.

EEA (European Environment Agency) (2015): Renewable energy in Europe - Approximated recent growth and knock-on effects. In Technical report No 1/2015. <https://doi.org/10.2800/123258> (02.04.2024).

EEA (European Environment Agency) (2023a): Dashboard - Impacts of renewable energy use on decarbonisation and air pollutant emissions. Topics and subtopics - Energy - Renewable energy. <https://www.eea.europa.eu/themes/energy/renewable-energy/impacts-of-renewable-energy-on-decarbonisation-and-air-quality> (25.03.2024).

EEA (European Environment Agency) (2023b): Energy. In-depth topics. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/energy> (21.03.2023).

EEA (European Environment Agency) (2023c): Renewable energy. In-depth topics. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/renewable-energy> (21.03.2023).

EEA (European Environment Agency) (2024): Share of energy consumption from renewable sources in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from> (29.03.2023).

ESRI (o. J.-a): Create web maps for dashboards. ArcGIS Dashboards | Documentation. <https://doc.arcgis.com/en/dashboards/latest/reference/create-web-maps-for-dashboards.htm> (23.02.2024).

ESRI (o. J.-b): FAQ. ArcGIS Dashboards | Documentation. <https://doc.arcgis.com/en/dashboards/latest/reference/faqs.htm> (23.02.2024).

ESRI (2023): Data Dashboards: Operational, Strategic, Tactical, Informational. ArcGIS Dashboards. <https://www.esri.com/de-de/arcgis/products/arcgis-dashboards/overview> (0.08.2023).

Esri Press (2017): The ArcGIS Book: 10 Big Ideas about Applying the Science of where | Companion Book (C. Harder & C. Brown, Hrsg.; 2. Aufl.): Esri Press. www.TheArcGISBook.com (06.05.2024).

Europäische Union (2023): Übereinkommen von Paris: der Weg der EU zur Klimaneutralität. Rat der Europäischen Union Generalsekretariat. <https://www.consilium.europa.eu/de/infographics/paris-agreement-eu/> (24.03.2024).

- European Commission (o. J.): What is the EU ETS? Climate Action. Abgerufen 3. April 2024, von https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en (03.04.2024).
- Eurostat - European Commission (2018): Glossar:Tonne Rohöleinheiten (t RÖE): Statistics Explained. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_\(toe\)/de](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_(toe)/de) (20.05.2024).
- Evans, S., & Pierce, R. (2017): Mapped: How the US generates electricity - Carbon Brief. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/mapped-how-the-us-generates-electricity/> (22.02.2024).
- Fernández, R. (2023): Internet: número de usuarios mundial 2005-2022. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/541434/numero-mundial-de-usuarios-de-internet/> (20.11.2023).
- Few, S. (2004): Dashboard Confusion. https://www.perceptualedge.com/articles/ie/dashboard_confusion.pdf (06.08.2023).
- Few, S. (2006): Information dashboard design: the effective visual communication of data (C. Wheeler, Hrsg.; First Edition.). In: O'Reilly Media. Auch online unter: <http://public.magendanz.com/Temp/Information%20Dashboard%20Design.pdf> (03.19.2023).
- Fischer, A. J., & Hutchinson, S. (2018): Developing and Evaluating a Geographic Information Dashboard to Improve Spatial Task Performance. Master Thesis. Kansas State University. Auch online unter <http://hdl.handle.net/2097/38841> (24.07.2023).
- Fredriksson Häagg, A., Weil, C., & Rönnerberg, N. (2020): On the usefulness of map-based dashboards for decision making. In: TechRxiv. <https://doi.org/10.36227/TECHRXIV.12738683.V1>. PREPRINT.
- Friendly, M., & Wainer, H. (2020): A History of Data Visualization and Graphic Communication - Introduction. Auch online unter: https://www.researchgate.net/publication/343696001_A_History_of_Data_Visualization_and_Graphic_Communication_-_Introduction#fullTextFileContent (09.08.2023).
- Fu, P., & Sun, J. (2011): Web GIS: principles and applications. In P. Fu & J. Sun (Hrsg.), Web GIS: principles and applications (1st ed.): ESRI Press.
- Galesic, M., & Garcia-Retamero, R. (2011): Graph literacy: A cross-cultural comparison. In: Medical Decision Making, 31(3), 444–457. <https://doi.org/10.1177/0272989X10373805>.
- Gan, W., Ye, Z., Wan, S., & Yu, P. S. (2023): Web 3.0: The Future of Internet. In: ACM Web Conference 2023 - Companion of the World Wide Web Conference, WWW 2023, 1266–1275. <https://doi.org/10.1145/3543873.3587583>.

- Gantz, J., & Reinsel, D. (2012): International Data Corporation (IDC) The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East. <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/spring13/cos598C/idc-the-digital-universe-in-2020.pdf> (21.08.2023).
- Gartner, G. (2009): Web mapping 2.0. In M. Dodge, R. Kitchin, & C. Perkins (Hrsg.), *Rethinking Maps* (S. 68–82): Routledge. Auch online unter: www.cybergeography.org/atlas. (19.11.2023).
- GeoPandas, G. developers (2022): GeoPandas. <https://geopandas.org/en/stable/> (1.11.2023).
- GIM International. (2021): Quantum Physics to Disrupt Geospatial Industry over the Coming Decade. 5 Questions to Hansjörg Kutterer, DVW. <https://www.gim-international.com/content/article/quantum-physics-to-disrupt-geospatial-industry-over-the-coming-decade> (09.11.2023).
- Gołębiowska, I., Opach, T., Çöltekin, A., Korycka-Skorupa, J., & Rød, J. K. (2023): Split legend or split attention? Evaluating layout designs of geodashboard interfaces. In: *Abstracts of the ICA*, 6, 1–2. <https://doi.org/10.5194/ICA-ABS-6-73-2023>.
- Grace, B. F. (1975): Training users of a prototype DSS. In: *SIGMIS Database*. 8(3), 30-36. <https://doi.org/10.1145/1017583.1017589>.
- GreenCityLab. (2019): Biodiversity Indicators Linked to Urban Vegetation. In: *ESRI - ArcGIS Dashboards Gallery*. <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/63527e7af2c64b6eb787d738d421b231> (22.02.2024).
- Häagg, A. F. (2020): Are Dashboards Useful? – Developing and evaluating interactive map-based dashboards for spatial decision making. Master Thesis. Linköping University. Auch online unter: <https://www.itn.liu.se/~nikro27/tnm107-2022/reading/haagg.pdf> (16.07.2023).
- Hahmann, S., & Burghardt, D. (2013): How much information is geospatially referenced? Networks and cognition. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 27(6), 1171–1189. <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.743664>.
- Haklay, M., Singleton, A., & Parker, C. (2008): Web Mapping 2.0: The Neogeography of the GeoWeb. In: *Geography Compass*, 2(6), 2011–2039. <https://doi.org/10.1111/J.1749-8198.2008.00167>.
- Halik, Ł. (2012): The analysis of visual variables for use in the cartographic design of point symbols for mobile Augmented Reality applications. In: *Geodesy and Cartography Polish Academy of Sciences*, 61(1), 19–30. <https://doi.org/10.2478/v10277-012-0019-4>.

- Horita, F., Fava, M. C., Mendiando, E. M., & Borges De Souza, V. C. (2014): AGORA-GeoDash: A Geosensor Dashboard for Real-time Flood Risk Monitoring Watershed Management and Rivers Revitalization View project Slum Mapping View project. In: Proceedings of the 11th International ISCRAM Conference – University Park, Pennsylvania. https://idl.iscram.org/files/horita/2014/593_Horita_etal2014.pdf (15.04.2024).
- Hunter, J. D. (2007): Matplotlib: A 2D graphics environment. In: Computing in Science and Engineering, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>.
- IBM Corporation 1994. (2023): What is OLAP? <https://www.ibm.com/topics/olap> (23.07.2023).
- ICA – International Cartographic Association. (2012): Geovisualization and visual analytics International Cartographic Association. <https://icaci.org/research-agenda/geovisualization-and-visual-analytics/> (15.08.2023).
- Jifa, G. (2013): Data, Information, Knowledge, Wisdom and Meta-Synthesis of Wisdom-Comment on Wisdom Global and Wisdom Cities. In: Procedia Computer Science, 17, 713–719. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2013.05.092>.
- Jing, C., Du, M., Li, S., & Liu, S. (2019): Geospatial dashboards for monitoring smart city performance. In: Sustainability, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205648>.
- Keenan, P. B. (1996): Using a GIS as a DSS Generator. Darzentas, J., Darzentas, J. S. And Spyrou, T. Eds., Perspectives on Decision Support System, Grèce University of the Aegean, Mytilene. <https://www.syros.aegean.gr/users/tsp/Books/ewg6/03KEENAN.pdf> (20.07.2023).
- Keenan, P. B. (2006): Spatial Decision Support Systems: A coming of age. In: Control and Cybernetics, 35(1), 9–27. <http://matwbn.icm.edu.pl/ksiazki/cc/cc35/cc3512.pdf> (17/07/2023).
- Keim, D. A., Mansmann, F., Schneidewind, J., Thomas, J., & Ziegler, H. (2008): Visual Analytics: Scope and Challenges. In S. J. Simoff, M. H. Böhlen, & A. Mazeika (Hrsg.), Visual Data Mining. Lecture Notes in Computer Science (LNCS) (Bd. 4404, S. 76–90): Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-71080-6_6.
- Keim, D., Kohlhammer, J., Ellis, G., & Mansmann, F. (2010): Mastering the Information Age Solving Problems with Visual Analytics. In Mastering the Information Age Solving Problems with Visual Analytics. Eurographics Association. <https://doi.org/https://doi.org/10.2312/14803>.

- Kent, A. J. (2018): Form Follows Feedback: Rethinking Cartographic Communication. In: Westminster Papers in Communication and Culture, 13(2), 96–112. <https://doi.org/10.16997/wpcc.296>.
- Kitchin, R., Lauriault, T. P., & McArdle, G. (2015): Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards. In: Regional Studies, Regional Science, 2(1), 6–28. <https://doi.org/10.1080/21681376.2014.983149>.
- Kitchin, R., Maalsen, S., & Mcardle, G. (2016): The praxis and politics of building urban dashboards. In: Geoforum, 77, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.10.006>.
- Kitchin, R., McArdle, G., & Lauriault, T. P. (2017): Urban data and city dashboards: Six key issues. In R. Kitchin & G. McArdle (Hrsg.), Data and the City (21; 1. Aufl., S. 111–126): Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315407388>.
- Kitchin, R., Perkins, C., & Dodge, M. (2009): Thinking about Maps. In R. Kitchin, C. Perkins, & M. Dodge (Hrsg.), Rethinking maps (S. 1–25): Routledge. Auch online unter: https://www.researchgate.net/publication/242489881_Thinking_about_Maps. (01.11.2023).
- Koch, T. (2004): The Map as Intent: Variations on the Theme of John Snow. In: Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization 39(4), 1–14. <https://doi.org/10.3138/B123-8124-4390-5792>.
- Korycka-Skorupa, J., & Gołębiowska, I. M. (2020): Numbers on Thematic Maps: Helpful Simplicity or Too Raw to Be Useful for Map Reading?. In: ISPRS International Journal of Geo-Information 2020, Vol. 9, Page 415, 9(7), 415. <https://doi.org/10.3390/IJGI9070415>.
- Kourtit, K., & Nijkamp, P. (2018): Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities – An experiment on stockholm. In: Land Use Policy, 71, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.019>.
- Kraak, M. J. (2004): The role of the map in a Web-GIS environment. In: Journal of Geographical Systems, 6(2), 83–93. <https://doi.org/10.1007/S10109-004-0127-2/METRICS>.
- Kraak, M. J. (2005): Visualising spatial distributions. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, Maguire David J., & Rhind David W. (Hrsg.), Geographical information systems: principles, techniques, management and applications: abridged (S. Buch 49–65, cd-rom 157–173). Wiley. Auch online unter: <https://research.utwente.nl/en/publications/visualising-spatial-distributions>. (06.05.2024).
- Kremser, R. S. (2020): Improvement of Decision Making and Communication in Disaster Risk Management through Cartographic Dashboards. Master Thesis - Master of Science

- (M.Sc.). Technical University of Munich.
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1618478/1618478.pdf> (16.07.2023).
- MacEachren, A. M., Gahegan, M., Pike, W., Brewer, I., Cai, G., Lengerich, E., & Hardisty, F. (2004): Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 13–17.
<https://doi.org/10.1109/mcg.2004.1255801>.
- MacEachren, A. M., & Kraak, M.-J. (2001): Research challenges in geovisualization. In: *Cartography Geograph. Cartography and geographic information science*, 28(1), 3–12.
<https://doi.org/10.1559/152304001782173970>.
- Malik, S. (2005): Enterprise dashboards: design and best practices for IT. In John Wiley & Sons, Inc. USA. Auch online unter: <http://www.inf.ufsc.br/> (28.01.2024).
- Martignon, L. (2001): Information Theory. In: *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 7476–7480. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00608-2>.
- Messaris, P., & Moriarty, S. (2005): Visual literacy theory. In K. Smith, S. Moriarty, G. Barbatsis, & K. Kenney (Hrsg.), *Handbook of visual communication: Theory, methods, and media* (S. 479–502): Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
<https://psycnet.apa.org/record/2004-21253-030>.
- Microsoft (2023): Microsoft Learn. Power-BI fundamentals.
<https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>
 (15.10.2023).
- Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In: *The Psychological Review*, 63(2), 81–97. Auch online unter: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:141895225>.
- Miller, S. (2007): Design of Multimedia Mapping Products. In: W. Cartwright, M. P. Peterson, & G. Gartner (Hrsg.), *Multimedia Cartography* (2. Aufl., S. 89–104): Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36651-5_7.
- Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Keshri, A., & Sabaretnam, M. (2019): Selection of Appropriate Statistical Methods for Data Analysis. In: *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(3), 297. https://doi.org/10.4103/ACA.ACA_248_18.
- MongoDB. (2023): MongoDB Atlas: Cloud Document Database.
<https://www.mongodb.com/docs/atlas/> (1.11.2023).
- Moore, P., & Fitz, C. (1993): Using Gestalt theory to teach document design and graphics. In: *Technical Communication Quarterly*, 2(4), 389–410.
<https://doi.org/10.1080/10572259309364549>.

- Moorkens, I., & Dauwe, T. (2019): ETC/CME 2019/2 Impacts of renewable energy on air pollutant emissions. In Eionet Portal. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cme/products/etc-cme-reports/impacts-of-renewable-energy-on-air-pollutant-emissions> (24.03.2024).
- Moujahid, A. (2016): Interactive Data Visualization of Geospatial Data using D3.js, DC.js, Leaflet.js and Python. <https://adilmoujahid.com/posts/2016/08/interactive-data-visualization-geospatial-d3-dc-leaflet-python/> (25.03.2024).
- Müller, M. G. (2008): Visual competence: a new paradigm for studying visuals in the social sciences?1. *Visual Studies*, 23(2), 101–112. <https://doi.org/10.1080/14725860802276248>.
- Naik, U., & Shivalingaiah, D. (2008): Comparative Study of Web 1.0, Web 2.0 and Web 3.0. In: International CALIBER (Convention on Automation of Libraries in Education and Research Institutions), 499–507. <https://ir.inflibnet.ac.in:8443/ir/bitstream/1944/1285/1/54.pdf> (03.11.2023).
- Nayak, J. G., Hartzler, A. L., Macleod, L. C., Izard, J. P., Dalkin, B. M., & Gore, J. L. (2016): Relevance of graph literacy in the development of patient-centered communication tools. In: *Patient Education and Counseling*, 99(3), 448–454. <https://doi.org/10.1016/J.PEC.2015.09.009>.
- Nazemi, K., & Burkhardt, D. (2019): Visual analytical dashboards for comparative analytical tasks – a case study on mobility and transportation. In: *Procedia Computer Science*, 149, 138–150. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.01.117>.
- Nielsen, J. (1994a): Usability Engineering. In: Morgan Kaufmann Publishers Inc. <https://doi.org/10.5555/2821575>.
- Nielsen, J. (1994b, November 1): The Theory Behind Heuristic Evaluations. In: Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/theory-heuristic-evaluations/> (04.06.2024).
- Nöllenburg, M. (2007): Geographic Visualization. In: A. Kerren, A. Ebert, & J. Meyer (Hrsg.), *Human-Centered Visualization Environments. Lecture Notes in Computer Science*, vol 4417. (S. 257–294). Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71949-6_6.
- North, C. (2006): Toward measuring visualization insight. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(3), 6–9. <https://doi.org/10.1109/MCG.2006.70>.
- OGC (Open Geospatial Consortium) (2023): Open Geospatial Consortium - Standards. In: Standards. <https://www.ogc.org/standards/> (14.11.2023).
- OpenStreetMap Austria (2023): Was ist OpenStreetMap - Übersicht. Übersicht. <https://www.openstreetmap.at/was-ist-openstreetmap/openstreetmap/> (24.11.2023).

- O'Reilly, T. (2007): What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. In: *International Journal of Digital Economics. Communications & Strategies*, 65(1), 17–37. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1008839 (25.10.2023).
- Ormeling, F. (2007): Map Concepts in Multimedia Products. In W. Cartwright, M. P. Peterson, & G. Gartner (Hrsg.), *Multimedia Cartography* (2. Aufl., S. 105–115): Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36651-5_8.
- Oxford University Press. (2023): Oxford English Dictionary | Dashboard - Advanced search results in Historical Thesaurus. <https://www.oed.com/search/advanced/HistoricalThesaurus?textTermText0=dashboard&textTermOpt0=WordPhrase&dateOfUseFirstUse=false&page=1&sortOption=AZ&tl=true> (07.08.2023).
- Pappas, L., Whitman, L. (2011). Riding the Technology Wave: Effective Dashboard Data Visualization. In: M.J., Smith, G., Salvendy, (Hrsg.) *Human Interface and the Management of Information. Interacting with Information. Human Interface 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6771. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21793-7_29.
- Parab, S., Bhalerao, S., & Bhalero, S. (2010): Choosing statistical test. In: *International Journal of Ayurveda Research*, 1(3), 187–191. <https://doi.org/10.4103/0974-7788.72494>.
- Perktold, J., Seabold, S., & Taylor, J. (2024): statsmodels. <https://www.statsmodels.org/dev/index.html> (09.10.2024).
- Posit Software, P. (2023): Shiny. <https://shiny.posit.co/> (17.11.2023).
- PostGIS PSC, & OSGeo. (2023): PostGIS. About PostGIS. <https://postgis.net/> (17.11.2023).
- Power, D. J. (2000): Decision Support Systems Glossary. In: *DSSResources.COM*. <http://dssresources.com/> (08.08.2023).
- Putz, S. (1994): Interactive Information Services Using World-Wide Web Hypertext. In: *Computer. Networks ISDN System*, 27(2), 273–280. [https://doi.org/10.1016/0169-7552\(94\)90141-4](https://doi.org/10.1016/0169-7552(94)90141-4).
- Rahman, A. (2017): Designing a Dashboard as Geo-Visual Exploration Tool for Origin-Destination Data. Master Thesis. Master of Science, University of Twente. <https://essay.utwente.nl/85856/> (18.03.2024).
- Rao, J., Chen, K., Yang, E. F., Kruse, J., Hudson, K., & Gao, S. (2021): A Multi-perspective Narrative-Based Geovisualization Dashboard for the 2020 US Presidential Election. In: *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 5(2): <https://doi.org/10.1007/S41651-021-00087-6>.

- Raschka, S. (2018): Model Evaluation, Model Selection, and Algorithm Selection in Machine Learning. <https://arxiv.org/abs/1811.12808v3> (30.09.2024).
- Robinson, A. (2017): Geovisual Analytics. In J. P. Wilson (Hrsg.), *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (3rd Quarter, Nummer Q3): <https://doi.org/10.22224/GISTBOK/2017.3.6>.
- Roth, R. E. (2013): An empirically-derived taxonomy of interaction primitives for interactive cartography and geovisualization. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2356–2365. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.130>.
- Roth, R. E. (2017): Visual Variables. In: *International Encyclopedia of Geography*, 1–11. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.WBIEG0761>.
- Roth, R. E., Çöltekin, A., Delazari, L., Filho, H. F., Griffin, A., Hall, A., Korpi, J., Lokka, I., Mendonça, A., Ooms, K., & van Elzakker, C. P. J. M. (2017): User studies in cartography: opportunities for empirical research on interactive maps and visualizations. In: *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 61–89. <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1288534>.
- Roth, R. E., & MacEachren, A. M. (2016): Geovisual analytics and the science of interaction: an empirical interaction study. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 43(1), 30–54. <https://doi.org/10.1080/15230406.2015.1021714>.
- Roth, R. E., Maceachren, A. M., & McCabe, C. A. (2009): A workflow learning model to improve geovisual analytics utility. In: *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*, 1–10.
- Sachse, P., & Furtner, M. (2010): Visuelle Kompetenz Beiträge des interfakultären Forums Innsbruck Media Studies Erklärungen. In Hug Theo & Kriwak Andreas (Hrsg.), *Visuelle Wahrnehmung – Grundlagen, Phänomene*, (S. 87–101): Innsbruck University Press. https://www.uibk.ac.at/iup/buch_pdfs/9783902719850.pdf (24/09/2023).
- Sandal, M. M., Taner, T., Firat, B. B., Unal, H. T., Ulucan, S., Mendi, A. F., Ozkan, O., & Akif Nacar, M. (2023): WEB 3.0 Applications and Projections. In: *2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/HORA58378.2023.10156728>.
- Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2019): What Do We Talk About When We Talk About Dashboards? In: *IEEE Transactions on Visualization And Computer Graphics*, 25(1), 682–692. DOI: DOI: 10.1109/TVCG.2018.2864903.
- Shannon, C. E. (1948): A Mathematical Theory of Communication. In: *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
- Sharma, D. P., & Sharma, R. K. (2015): Design and Development of Spatial Decision Support Systems for Resource Management. PhD Dissertation. Surersh Gyan Vihar

- University. Auch online unter:
https://www.researchgate.net/publication/341781967_Design_and_Development_of_Spatial_Decision_Support_Systems_for_Resource_Management (08.08.2023).
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., & Carlsson, C. (2002): Past, present, and future of decision support technology. In: *Decision Support Systems*, 33(2), 111–126. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(01\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(01)00139-7).
- Sigdel, R. (2022): Comparison between ArcGIS Dashboard, Tableau Dashboard, and R Flexdashboard | by Rajesh Sigdel | Towards Data Science. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/comparison-between-arcgis-dashboard-tableau-dashboard-and-r-flexdashboard-86604cd125d1> (20.10.2023).
- Tableau Software (2023): Erstellen eines Dashboards. Erstellen von Dashboards. https://help.tableau.com/current/pro/desktop/de-de/dashboards_create.htm (16.10.2023).
- Tableau Software, & Salesforce Company (2024): Business intelligence and analytics software. <https://www.tableau.com/en-gb> (23.02.2024).
- Taylor, P. (2022): Amount of data created, consumed, and stored 2010-2020, with forecasts to 2025. In: Statista. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/> (21.08.2023).
- The Interaction Design Foundation (IxDF) (2023): The Gestalt Principles. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/gestalt-principles> (24.09.2023).
- The University of California, L. A. (UCLA) (2004): High resolution maps of John Snow. In: Broad Street pump cholera outbreak of 1854. In: UCLA Department of Epidemiology - School of Public Health. <https://www.ph.ucla.edu/epi/snow/highressnowmap.html> (07.05.2024).
- UNFCCC, (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2015): The Paris Agreement. Process and meetings. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. (24.03.2024).
- Vacher, H. L. (2019): The Second Decade of Numeracy: Entering the Seas of Literacy. In: *Numeracy*, 12(1): <https://doi.org/10.5038/1936-4660.12.1.1>.
- Vazquez Ingelmo, A., Garcia Penalvo, F. J., & Theron, R. (2019): Information Dashboards and Tailoring Capabilities - A Systematic Literature Review. In: *IEEE Access*, 7, 109673–109688. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933472>.
- Veenendaal, B. (2016): Eras of web mapping developments: Past, present and future. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. In: *ISPRS Archives*, 41, 247–252. <https://doi.org/10.5194/ISPRSARCHIVES-XLI-B4-247-2016>.

- Veenendaal, B., Brovelli, M. A., & Li, S. (2017): Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions. In: ISPRS International Journal of Geo-Information 2017, Vol. 6, Page 317, 6(10), 317. <https://doi.org/10.3390/IJGI6100317>.
- W3School. (2023): Learn to Code. W3Schools. <https://www.w3schools.com/js/default.asp> (17.11.2023).
- Ward, M., Grinstein, G., & Keim, D. (2015): Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications, Second Edition (2nd ed.). A K Peters/CRC Press. <https://doi.org/10.1201/B18379>.
- Ware, C. (2004): Information Visualization: Perception for Design (Second Edition): Morgan Kaufmann. Auch online unter: <https://www.researchgate.net/publication/224285723>.
- Waskom, M. (2021): seaborn: statistical data visualization. In: Journal of Open Source Software, 6(60): <https://doi.org/10.21105/JOSS.03021>.
- WHO (World Health Organization) (2024): Air pollution. Health topics. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (22.03.2024).
- Widuto, A. (2024): Revision of the Renewable Energy Directive In “A European Green Deal”. In: Legislative Train Schedule - European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/package-fit-for-55/file-revision-of-the-renewable-energy-directive> (01.04.2024).
- Xu, M., Ren, X., Niyato, D., Kang, J., Qiu, C., Xiong, Z., Wang, X., & Leung, V. C. M. (2023): When Quantum Information Technologies Meet Blockchain in Web 3.0. In: IEEE Network. <https://doi.org/10.1109/MNET.134.2200578>.
- Yigitbasioglu, O. M., & Velcu, O. (2012): A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. In: International Journal of Accounting Information Systems, 13(1), 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.08.002>.
- Young, G. W., & Kitchin, R. (2020): Creating design guidelines for building city dashboards from a user's perspectives. In: International Journal of Human Computer Studies, 140. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102429>.
- Young, G. W., Kitchin, R., & Naji, J. (2021): Building City Dashboards for Different Types of Users. In Sustainable Smart City Transitions (S. 259–279): Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003205722-13>.
- Zhang, H., Zuo, C., & Ding, L. (2021): Visualizing Spatiotemporal Epidemic Clusters on a Map-based Dashboard: A case study of early COVID-19 cases in Singapore. In: Proceedings of the ICA, 4, 1–5. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-4-117-2021>.

- Zhou, L. (2023): An Introduction to Data Visualization. In: Highlights in Science, Engineering and Technology, 31, 60–63. <https://doi.org/10.54097/HSET.V31I.4813>.
- Zhu, Y. (2007): Measuring Effective Data Visualization. In G. Bebis, R. Boyle, B. Parvin, D. Koracin, N. Paragios, S.-M. Tanveer, T. Ju, Z. Liu, S. Coquillart, C. Cruz-Neira, T. Müller, & T. Malzbender (Hrsg.), Advances in Visual Computing: Bd. 4842 LNCS (Nummer PART 2, S. 652–661): Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-76856-2_64.
- Zuo, C., Ding, L., Bogucka, P., & Meng, L. (2019): Map-based Dashboards versus Storytelling Maps. In G. Gartner & H. Huang (Hrsg.), Adjunct Proceedings of the 15th International Conference on Location-Based Services (S. 19–24): Research Group Cartography, Vienna University of Technology. <https://doi.org/10.34726/lbs2019.33>.
- Zuo, C., Ding, L., Liu, X., Zhang, H., & Meng, L. (2022): Map-based dashboard design with open government data for learning and analysis of industrial innovation environment. In: International Journal of Cartography, 9(1), 97–113. <https://doi.org/10.1080/23729333.2022.2049106>.
- Zuo, C., Ding, L., & Meng, L. (2019): Visual Analytics for Regional Economic Environment Factors Based on a Dashboard Design. In: Proceedings of the ICA, 2, 1–8. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-158-2019>.
- Zuo, C., Ding, L., & Meng, L. (2020): A feasibility study of map-based dashboard for spatiotemporal knowledge acquisition and analysis. In: ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(11): <https://doi.org/10.3390/ijgi9110636>.
- Zuo, C., Ding, L., & Meng, L. (2021): The reading strategies of a map-based dashboard – acquisition and assessment. In: Abstracts of the ICA, 3, 1–2. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-331-2021>.

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift

ANHANG I – Allgemeine Umfrage. Erstellt in Survey 1,2,3 von ESRI

Form #1

Please answer the following questions by checking the appropriate options or filling in the required information in the provided fields.

Age*

Education Level*
Highest level of education completed

Education Field (if apply)*

Are you familiar with or have you used (Geo-)Dashboards?*

☐ Yes ☐ No

Are you familiar with or have you used Geographic Information Systems (GIS)?*

☐ Yes ☐ No

Are you familiar with the topic of renewable energy?*

☐ Yes ☐ No

How would you rate your understanding of the topic of renewable energy and decarbonisation?

☐ Very limited ☐ Basic ☐ Intermediate ☐ Expert

NOTE !
Please note that all the information you provide will be used for research purposes only.

Submit

ANHANG II – Dashboards Einleitung

Test #____

GEODASHBOARD A

- 1a Which country has the highest gross final renewable energy consumption *per capita* in all years (2005 to 2022)?

- 2a What was the share of renewable energy sources (RES) (%) in the electricity sector in Finland in 2015?

- 3a Compare the Avoided Greenhouse gases emissions *per capita* between Northern and Southern European countries. Which region tends to have higher values?

(please select one)

- ☐ a. Northern countries
☐ b. Southern countries

- 4a Which renewable energy technologies contributed the most to reducing fossil fuel consumption (*kilotonnes of oil equivalent (ktoe)*) in Austria's electricity sector in 2021?

(Please rank the top three sources from greatest to smallest impact)

1.
2.
3.

- 5a How does the consumption of renewable energy correlate with the reduction in fossil fuel use?

(please select one)

- ☐ a. Correlates positively. The more renewable energy is consumed, the more greenhouse gas emissions from fossil fuels can be avoided.
☐ b. Correlates negatively. The more renewable energy is consumed, the less greenhouse gas emissions from fossil fuels can be avoided.

GEODASHBOARD B

- 1b Which country has the highest fossil fuel consumption avoided *per capita* in all years (2005 to 2022)?

- 2b What percentage of the total energy consumed in Greece in 2020 was generated from renewable energies?

- 3b Compare the renewable energy consumption *per capita* between Western and Eastern European countries. Which region tends to have higher values?

(please select one)

- ☐ a. Western countries
- ☐ b. Eastern countries

- 4b Which renewable energy technologies contributed the most to reducing Greenhouse Gases Emissions (*megaton oil equivalent (Mtoe)*) in Austria's heating and cooling sector in 2020? (Please rank the top three sources from greatest to least impact)

(Please rank the top three sources from greatest to smallest impact)

- 1.
- 2.
- 3.

- 5b How does the consumption of renewable energy correlate with the avoidance of greenhouse gas emissions?

(please select one)

- ☐ a. Correlates positively. The more renewable energy is consumed, the more greenhouse gas emissions can be avoided.
- ☐ b. Correlates negatively. The more renewable energy is consumed, the less greenhouse gas emissions can be avoided.

ANHANG II – Post Test Umfrage. Erstellt in Survey 1,2,3 von ESRI

Form II: Post-Test survey

Which geodashboard did you find most comfortable to perform the tasks with?

☐ Geodashboard A (with map)

☐ Geodashboard B (without map)

Could you please explain why?

Please choose the option that best reflects your opinion on the following statement.

The inclusion of a map within the geodashboard improves understanding of the data.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

The maps in the layout of the geodashboard appeared redundant or unnecessary compared to the geodashboard without the maps.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

The design of the geodashboard with map is visually more appealing compared to the geodashboard without the map.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

The map in the geodashboard provided unique insights that the other visualizations did not.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

It was easier to navigate in the geodashboard with map.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

The map adds value to the data analysis.

☐ Strongly disagree ☐ Disagree ☐ Neutral ☐ Agree ☐ Strongly agree

Do you have any final comments or feedback you would like to share?