

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart  
Universitätsstraße 38  
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit

**Studie zur Eignung von  
doppelt-äquidistanter Projektion für  
animierte Kartentransitionen**

Alexandra Hirsch

<b>Studiengang:</b>	Medieninformatik
<b>Prüfer/in:</b>	Dr. Steffen Koch
<b>Betreuer/in:</b>	Max Franke, M.Sc., Jena Satkunarajan, M.Sc.
<b>Beginn am:</b>	9. Dezember 2022
<b>Beendet am:</b>	9. Juni 2023



## Danksagung

Hiermit möchte ich die Gelegenheit ergreifen und mich bei allen Personen bedanken, die mir bei und während der Erstellung dieser Arbeit zur Seite standen.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Max Franke, der mich mit tatkräftiger Unterstützung und sehr viel Geduld und Engagement durch diese Arbeit begleitet hat. An dieser Stelle möchte ich mich vor allem auch für all die guten Anregungen und Ideen, die wesentlich zur Ermöglichung der Umsetzung beigetragen haben, sowie für das mehrfache Starten und Durchlaufen lassen der tagelangen Stimuli-Generierung bedanken.

Außerdem danke ich allen, die an der Vorstudie und der finalen Studie teilgenommen und damit einen entscheidenden Beitrag zur Erkenntnisgewinnung geleistet haben. Insbesondere denen, die dabei ausführliches und konstruktives Feedback hinterlassen haben.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Freunden und Familie bedanken. Hierbei danke ich vor allem allen Last-Minute-Korrekturlesern. Weiterhin danke ich allen Freunden, die mich anderweitig während dieser Zeit, sei es durch ein offenes Ohr, aufmunternde Worte oder CARE-Pakete mit Kaffee, unterstützt und motiviert haben.



## Kurzfassung

Animierte Übergänge zwischen verschiedenen Orten auf einer Karte sollen den Betrachter dabei unterstützen, die topologische Beziehung zwischen diesen zu verstehen. Die zugrundeliegende Kartendarstellung solcher animierter Transitionen kann durch unterschiedliche Projektionen der Erdoberfläche entstehen, die alle in gewisser Weise Verzerrung mit sich bringen. In dieser Arbeit werden die Mercator-Projektion, die azimutale äquidistante Projektion und die doppelt-äquidistante Projektion im Hinblick auf das resultierende Verständnis der Beziehung zwischen Start- und Endpunkt auf der Erde verglichen. Letztendlich führten wir eine Online-Studie mit 72 Teilnehmern und einer Aufgabe zur Untersuchung der Richtungswahrnehmung durch. Dabei wurden Zeit und Fehler in Abhängigkeit verschiedener Entfernungsstufen zwischen Start- und Endpunkt gemessen. Die Stimuli zeigen flüssige Transitionen über abstrahierten Karten, bei denen das Zoomen und Verschieben der Karte dem von Van Wijk und Nuij [VN04] vorgeschlagenen Prinzip folgt. In den Ergebnissen finden sich unterschiedliche Trends und in einem Fall Nachweis für die Überlegenheit der azimutalen äquidistanten Projektion gegenüber der Mercator-Projektion bezüglich der Genauigkeit.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>15</b>
2.1. Verarbeitung räumlicher Information . . . . .	15
2.2. Animationen . . . . .	15
2.2.1. Animationen in der geographischen Visualisierung . . . . .	16
2.2.2. Grundlegende Prinzipien . . . . .	16
2.2.3. Optimaler Kamerapfad . . . . .	17
2.3. Kartenprojektionen . . . . .	20
2.3.1. Grundbegriffe der mathematischen Geographie . . . . .	20
2.3.2. Definition von Kartenprojektionen . . . . .	21
2.3.3. Klassifizierung . . . . .	21
2.3.4. Ansichten . . . . .	22
2.3.5. Verzerrungsmaße . . . . .	23
2.3.6. Mercator-Projektion . . . . .	23
2.3.7. Azimutale äquidistante Projektion . . . . .	25
2.3.8. Doppelt-äquidistante Projektion . . . . .	27
2.4. Konfidenzintervalle . . . . .	28
2.4.1. Konstruktion . . . . .	29
2.4.2. Vorteile gegenüber Hypothesentests . . . . .	30
2.4.3. Interpretation . . . . .	30
2.4.4. Bonferroni-Korrektur . . . . .	31
2.4.5. Bootstrapping . . . . .	31
<b>3. Verwandte Arbeiten</b>	<b>33</b>
<b>4. Studie</b>	<b>37</b>
4.1. Aufgaben . . . . .	37
4.1.1. Distanzaufgabe . . . . .	38
4.1.2. Richtungsaufgabe . . . . .	38
4.1.3. Endpunktaufgabe . . . . .	38
4.2. Studiendesign . . . . .	38
4.2.1. Bedingungen . . . . .	38
4.2.2. Apparat . . . . .	40
4.2.3. Stimuli . . . . .	40
4.2.4. Teilnehmer . . . . .	42
4.2.5. Ablauf . . . . .	42
4.3. Implementierung der Webanwendung . . . . .	45
4.4. Vorstudie . . . . .	45
4.4.1. Feedback . . . . .	46

4.4.2. Ergebnisse . . . . .	46
4.4.3. Implikationen . . . . .	49
4.5. Angepasstes Studiendesign . . . . .	50
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>51</b>
5.1. Teilnehmer . . . . .	51
5.2. Performanz . . . . .	52
5.2.1. Distanz 0 (500 - 3000 km) . . . . .	53
5.2.2. Distanz 1 (3001 - 6000 km) . . . . .	53
5.2.3. Distanz 2 (6001 - 9000 km) . . . . .	53
5.2.4. Distanz 3 (9001 - 12000 km) . . . . .	54
5.3. Wahrgenommene Schwierigkeit . . . . .	54
5.4. Feedback . . . . .	56
<b>6. Diskussion</b>	<b>57</b>
<b>7. Fazit</b>	<b>61</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>67</b>
A.1. Vorstudie . . . . .	67
A.1.1. Ablauf . . . . .	67
A.1.2. Demographie . . . . .	76
A.1.3. Performanz . . . . .	77
A.1.4. Wahrgenommene Schwierigkeit . . . . .	82
A.2. Studie . . . . .	83
A.2.1. Konfidenzintervalle . . . . .	84



# Abbildungsverzeichnis

2.1. Virtuelle Kamera im uw-Raum . . . . .	18
2.2. Kamerapfad in Abhängigkeit von $\rho$ . . . . .	19
2.3. Geographisches Koordinatensystem . . . . .	21
2.4. Projektionen nach geometrischem Abbildungskörper . . . . .	22
2.5. Weltkarte basierend auf der Mercator-Projektion . . . . .	24
2.6. Karte basierend auf azimutaler äquidistanter Projektion . . . . .	25
2.7. Konstruktion azimutaler Projektionen . . . . .	26
2.8. Karte basierend auf doppelt-äquidistanter Projektion . . . . .	27
2.9. Konstruktion der doppelt-äquidistanten Projektion . . . . .	28
4.1. Aufgaben in der Vorstudie . . . . .	39
4.2. Beispielframes aus einer Transition (Mercator-Projektion) . . . . .	43
4.3. Beispielframes aus einer Transition (azimutale äquidistante Projektion) . . . . .	43
4.4. Beispielframes aus einer Transition (doppelt-äquidistante Projektion) . . . . .	44
4.5. Aufgaben auf einem blanken Globus . . . . .	49
5.1. Verteilung der Gruppen nach demographischen Merkmalen (Studie) . . . . .	52
5.2. Konfidenzintervalle für alle Maße bezüglich der Richtungsaufgabe (Studie) . . . . .	55
5.3. Wahrgenommene Schwierigkeit (Richtungsaufgabe) . . . . .	56
A.1. Bildschirmaufnahme der Startseite . . . . .	67
A.2. Bildschirmaufnahme der Skalierungsaufgabe . . . . .	68
A.3. Bildschirmaufnahme des demographischen Fragebogens . . . . .	69
A.4. Bildschirmaufnahme: Betrachtung einer Animation für einen Testdurchlauf . . . . .	70
A.5. Bildschirmaufnahme: Nach einmaligem Anschauen der Animation (Testdurchlauf) . . . . .	70
A.6. Bildschirmaufnahme: Beschreibung der Distanzaufgabe . . . . .	71
A.7. Bildschirmaufnahme der Distanzaufgabe . . . . .	71
A.8. Bildschirmaufnahme: Beschreibung der Richtungsaufgabe . . . . .	72
A.9. Bildschirmaufnahme der Richtungsaufgabe . . . . .	72
A.10. Bildschirmaufnahme: Beschreibung der Endpunktaufgabe . . . . .	73
A.11. Bildschirmaufnahme der Endpunktaufgabe . . . . .	73
A.12. Bildschirmaufnahme: Bewertung der Schwierigkeit . . . . .	74
A.13. Bildschirmaufnahme der offenen Frage . . . . .	75
A.14. Bildschirmaufnahme der Endansicht . . . . .	75
A.15. Geschlechterverteilung (Vorstudie) . . . . .	76
A.16. Altersverteilung (Vorstudie) . . . . .	76
A.17. Verteilung nach Bildungsgrad (Vorstudie) . . . . .	76
A.18. Verteilung nach Häufigkeit der Nutzung von Online-Karten (Vorstudie) . . . . .	76
A.19. Verteilung nach räumlichen Fähigkeiten (Vorstudie) . . . . .	77
A.20. Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Distanzaufgabe (Vorstudie) . . . . .	77

A.21. Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Distanzaufgabe (Vorstudie) . . . .	78
A.22. Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Distanzaufgabe (Vorstudie) . . . . .	78
A.23. Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Richtungsangabe (Vorstudie) . .	79
A.24. Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Richtungsangabe (Vorstudie) . . .	79
A.25. Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Richtungsangabe (Vorstudie) . . . . .	80
A.26. Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Endpunktaufgabe (Vorstudie) . . .	80
A.27. Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Endpunktaufgabe (Vorstudie) . . .	81
A.28. Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Endpunktaufgabe (Vorstudie) . . . . .	81
A.29. Wahrgenommene Schwierigkeit der Distanzaufgabe (Vorstudie) . . . . .	82
A.30. Wahrgenommene Schwierigkeit der Richtungsangabe (Vorstudie) . . . . .	82
A.31. Wahrgenommene Schwierigkeit der Endpunktaufgabe (Vorstudie) . . . . .	83
A.32. Richtungsangabe in der Studie . . . . .	83

# Tabellenverzeichnis

A.1. Konfidenzintervalle für den Fehler in numerischer Form (Studie) . . . . .	84
A.2. Konfidenzintervalle für die Differenz des Fehlers in numerischer Form (Studie) .	84
A.3. Konfidenzintervalle für die aktive Zeit in numerischer Form (Studie) . . . . .	85
A.4. Konfidenzintervalle für die Differenz der aktiven Zeit in numerischer Form (Studie)	85
A.5. Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit in numerischer Form (Studie) . . . . .	86
A.6. Konfidenzintervalle für die Differenz der Gesamtzeit in numerischer Form (Studie)	86



# 1. Einleitung

Animierte Übergänge zwischen unterschiedlichen visuellen Repräsentationen sind heutzutage in den meisten graphischen Benutzeroberflächen wiederzufinden. Statt eines plötzlichen Wechsels von initialer zu finaler Ansicht erfolgt die Darstellung einiger Zwischenschritte. Wie Heer und Robertson [HR07] durch ihre Studie nachwiesen, kann die graphische Wahrnehmung der Änderung zwischen den verschiedenen Zuständen durch animierte Transitionen verbessert werden. Insbesondere betrifft dies einen Wechsel der Perspektive bei der Darstellung räumlicher Daten. Bederson und Boltman [BB99] zeigten, dass sich das Animieren einer solchen Transition, falls angemessen gestaltet, als effektiv erweist. Der Betrachter wird hierdurch unterstützt, die Position von Objekten sowie die räumliche Beziehung zwischen diesen zu erlernen und zu verstehen. Außerdem ist er im Nachhinein besser in der Lage, den Raum im Gesamten rekonstruieren zu können. In Anwendungen wie *Google Earth*, die geographische Informationsräume darstellen, wird dies bereits eingesetzt, um die räumliche Beziehung zwischen verschiedenen Orten auf der Welt verständlich zu machen. Hier können Animationen beobachtet werden, die ausgehend von einem Ort auf der Welt in Nahansicht, das Herauszoomen und den virtuellen Flug über den dreidimensionalen Globus bis hin zum Hereinzoomen zur Nahansicht eines anderen Ortes darstellen. Auch für das Verständnis des Zusammenhangs zwischen einzelnen Ansichten in zweidimensionalen Informationsräumen, wie Karten, ist ein flüssiger, animierter Übergang nötig, wie Van Wijk und Nuij [VN04] schildern. Dieser soll ebenfalls sowohl Nahaufnahmen der initialen und finalen Sicht, als auch kleinmaßstäbige Zwischenansichten enthalten, um das Inspizieren von Details und das Erlangen eines Überblicks zu ermöglichen.

Um die Weltkugel, oder Teile dieser, in Kartenform darzustellen, müssen die Punkte auf der Erdoberfläche mittels einer Projektion auf eine zweidimensionale Bildebene abgebildet werden. In den meisten Online-Kartendiensten, wie *Google Maps*, wird hierzu die *Web-Mercator-Projektion*, eine Variante der *Mercator-Projektion*, eingesetzt. Diese stellt Länderformen zwar korrekt dar, wird heutzutage allerdings immer stärker dafür kritisiert, ein falsches Bild der Welt zu vermitteln. Denn zu den Polen hin nimmt die Verzerrung von Flächen, Distanzen und Richtung erheblich zu. Realisiert man eine animierte Transition zwischen zwei Punkten auf einer Kartendarstellung, gewonnen über die Mercator-Projektion, könnten sich hierdurch Probleme ergeben. Denn womöglich ruft die verfälschte Darstellung der Distanz und Richtung ein inkorrektes Verständnis der tatsächlichen geographischen Beziehung zwischen diesen Orten hervor. Bis heute wurden zahlreiche weitere Kartenprojektionen veröffentlicht, um Verzerrungen der Mercator-Projektion zu umgehen. Diese bringen jedoch Verzerrung anderer Art mit sich. Mit der azimutalen äquidistanten Projektion und der doppelt-äquidistanten Projektion ist es in jedem Fall möglich, die kürzeste Route zwischen Start- und Endpunkt einer Transition geradlinig und die Distanz zwischen den Punkten maßstabsgetreu abzubilden.

## 1. Einleitung

---

Ziel dieser Arbeit ist es, die Eignung der drei genannten Projektionen für animierte Kartentransitionen durch eine Online-Studie zu vergleichen. Es sind drei verschiedene Aufgaben vorgesehen, um die Wahrnehmung der räumlichen Beziehung zwischen Start- und Zielort auf der Erde im Hinblick auf Distanz und Richtung zu untersuchen. Für diese sollen die Zeit und der Fehler, in Abhängigkeit der Entfernung zwischen Start- und Endpunkt der Transition, gemessen werden.

Hierzu wird zunächst das Verfahren zur Generierung der nötigen Kartentransitionen nach den Vorgaben von Van Wijk und Nuij [VN04] implementiert. Außerdem legen wir ein geeignetes Studiendesign fest.

Im Rahmen einer Vorstudie evaluieren wir das Studiendesign und identifizieren wesentliche Probleme. Wir finden heraus, dass sich die Distanz auf diese Weise nicht adäquat untersuchen lässt und beschränken die Studie auf eine Aufgabe zur Untersuchung des Verständnisses von Richtung.

Mit dem nach der Vorstudie abgeänderten Studiendesign führen wir schlussendlich die richtige Studie mit 72 Teilnehmern durch. Für die niedrigsten Distanzen finden wir Trends, die für die Eignung der Mercator-Projektion sprechen. Diese entwickeln sich mit Erhöhung der Distanz großteils zugunsten der doppelt-äquidistanten und der azimutalen äquidistanten Projektion. Im paarweisen Vergleich zwischen der doppelt-äquidistanten und der azimutalen äquidistanten Projektion zeigen sich ebenfalls Trends, die dafür sprechen, dass die azimutale äquidistante Projektion, gerade bei größeren Distanzen, eine genauere Lösung der Aufgabe zulässt. Wir finden außerdem schwache Evidenz dafür, dass die Aufgabe mit der azimutalen äquidistanten Projektion, bei Kartentransitionen der größten Distanzstufe, genauer gelöst werden kann als mit der Mercator-Projektion. Wir schließen daraus, dass die Wahl der azimutalen äquidistanten Projektion für ein korrekteres Verständnis der Richtung bezüglich der kürzesten Route, bei Kartentransitionen über große Distanzen, von Vorteil sein könnte. Dennoch zeigte sich bei der azimutalen äquidistanten Projektion eine höhere kognitive Belastung. Zudem identifizieren wir Probleme des Studiendesigns, die die Möglichkeiten, aus den Ergebnissen auf die Gesamthematik schlusszufolgern, einschränken.

## 2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden grundlegende Konzepte, welche für diese Arbeit relevant sind, erklärt. Zunächst folgt eine Beschreibung der kognitiven Verarbeitung räumlicher Information. Daraufhin werden grundlegende Prinzipien von Animationen und animierten Transitionen erläutert. Am Ende sind Erklärungen der untersuchten Projektionen, sowie der für die Auswertung verwendeten statistischen Konzepte, zu finden.

### 2.1. Verarbeitung räumlicher Information

Eine *kognitive Karte* ist die visuelle Repräsentation eines Informationsraumes im Gedächtnis. Harrower und Sheesley [HS05] [HS07] beschreiben die Grundkonzepte einer kognitiven Karte. Sie ist meist stark abstrahiert und enthält nur wichtigste Muster und Strukturen. Dennoch ist sie essentiell für die Orientierung und Navigation im zugehörigen Raum. Zu einer kognitiven Karte gehört zum einen die *Identität* der enthaltenen Objekte. Man hat also ein Wissen darüber, was durch diese dargestellt wird. Das können beispielsweise ein Gebäude oder gewisse Orte sein. Ausschlaggebend ist aber vor allem auch die *Struktur*. Damit ist das Wissen über die topologischen Beziehungen zwischen den enthaltenen Objekten gemeint. Dazu gehört außerdem ein Bewusstsein dafür, wie ein Objekt in den Raum als Ganzes, z.B. ein Gebäude in eine Stadt, passt. Dies wird auch als *Überblickwissen* bezeichnet. Außerdem müssen Objekte eine subjektive Bedeutung haben, die entweder praktischer oder emotionaler Natur ist, um in die kognitive Karte aufgenommen zu werden. Folglich unterscheidet sich die kognitive Karte desselben Raumes zwischen verschiedenen Individuen.

### 2.2. Animationen

Bei einer *Animation* handelt es sich um eine Sequenz aus statischen grafischen Darstellungen, auch *Frames* genannt, deren Inhalt sich, falls er in rapider Abfolge gezeigt wird, anfängt flüssig zu bewegen [HF08]. Die Geschwindigkeit dieser Abfolge wird für gewöhnlich durch die Anzahl von sichtbaren Frames pro Sekunde, kurz auch *fps*, angegeben. Es gibt verschiedene Arten von Computeranimationen und animierten Transitionen. Einige beinhalten die Bewegung oder Veränderung eines Objektes in einer Szene. Andere zeigen eine Perspektivveränderung. Dabei handelt es sich um einen Wechsel des Beobachtungspunktes über einer großen 2D-Grafik oder in einer 3D-Szene. Bilder, die zwischen initialer und finaler Sicht gerendert werden, werden als *In-Between-Frames* bezeichnet [BB99].

### 2.2.1. Animationen in der geographischen Visualisierung

Harrower und Fabrikant [HF08] gehen näher auf die Rolle von Animationen in der geographischen Visualisierung ein. Vor der Verbreitung von Computern mit größeren Grafikprozessoren und der Einführung des Internets wurden dynamische räumlich-zeitliche Phänomene anhand statischer räumlicher Repräsentationen, in Form von 2D-Karten, dargestellt. Durch animierte Karten gelang es ab den 1930er Jahren, die Zeit-Dimension in die Repräsentation solcher geographischen Prozesse aufzunehmen. Es ist allerdings nicht grundsätzlich davon auszugehen, dass diese statische Karten ersetzen und in jedem Fall besser geeignet sind. Dies ist von der zu lösenden Aufgabe abhängig.

In der Kartographie lassen sich zwei grundlegende Arten von Animationen unterscheiden. Bei *zeitlichen Animationen* erfolgt eine Darstellung von dynamischen Ereignissen in chronologischer Reihenfolge, abhängig von dem tatsächlichen Vergehen von Zeit auf der Welt. Die Animationszeit, typischerweise angegeben in Sekunden, ist in der Regel proportional zur Weltzeit, bei der es sich oft um Tage oder Jahre handelt. Hierzu zählen zum Beispiel Animationen, die den Verbreitungsprozess von Krankheiten oder die Streuung von Waldfeuern zeigen. Bei *nicht-zeitlichen Animationen* hat die Animationszeit selbst keine nähere Bedeutung. Hierzu zählen Animationen, die eine Transformation der Perspektive, in Form von *Flyover-Touren* über Karten, zeigen.

### 2.2.2. Grundlegende Prinzipien

Forscher, wie Bederson und Boltman [BB99], die den Erfolg animierter Transitionen zeigten, begründeten diesen dadurch, dass sie den Betrachter dabei unterstützen, *Objekt Konstanz* aufrechtzuerhalten. Das bedeutet, dass Objekte, auch wenn sie sich über die Zeit, beispielsweise bzgl. Position, Größe, Form oder Farbe verändern, als dieselben wiedererkannt werden. So können Beziehungen zwischen Objekten oder Repräsentationen verfolgt werden, ohne dass Zeit für die Reidentifikation von Objekten aufgewendet werden muss. Bei einer plötzlichen Änderung der Perspektive dagegen wäre dies nötig. Weiterhin spricht gegen einen plötzlichen Wechsel zwischen Start- und Endsicht, dass wenn ein Objekt von Interesse nicht in beiden Sichten auftaucht, nicht klar ist, in welche Richtung sich das Objekt bewegt und so der Aufbau einer kognitiven Karte gehindert ist. Des Weiteren erweckt Bewegung Aufmerksamkeit, ist emotional ansprechender und wird im peripheren Sichtfeld besser wahrgenommen als statischer Inhalt [HR07].

Tversky et al. [TMB02] weisen darauf hin, dass einige vergangene Studien, die den Erfolg von Animationen gegenüber statischen Grafiken nachwiesen, nicht mit statischen Grafiken von äquivalentem Informationsgehalt verglichen. Weiterhin machen sie auf Risiken von Animationen aufmerksam. Aufgrund von Beschränkungen bzgl. Kognition und Wahrnehmung bei der Verarbeitung eines sich verändernden visuellen Zustandes, ist es teilweise herausfordernd, Animationen korrekt wahrzunehmen und zu verstehen. Um diesen Risiken entgegenzuwirken und Animationen möglichst effektiv zu gestalten, schlagen Tversky et al. daher zwei Prinzipien vor.

Das *Apprehension Principle* besagt, dass die Struktur und der Inhalt der externen Repräsentation möglichst leicht wahrnehmbar und korrekt verständlich sein sollten. Hierzu muss die Animation langsam und klar genug sein, damit es dem Beobachter möglich ist, Bewegungen und Änderungen, sowie deren zeitliche Koordinierung und Beziehungen zwischen einzelnen Teilen korrekt wahrzunehmen. Für die Dauer einer animierten Transition sollte ein geeigneter Trade-off gefunden werden. Ein zu schneller Übergang verhindert womöglich, dass eine Verbindung zwischen der



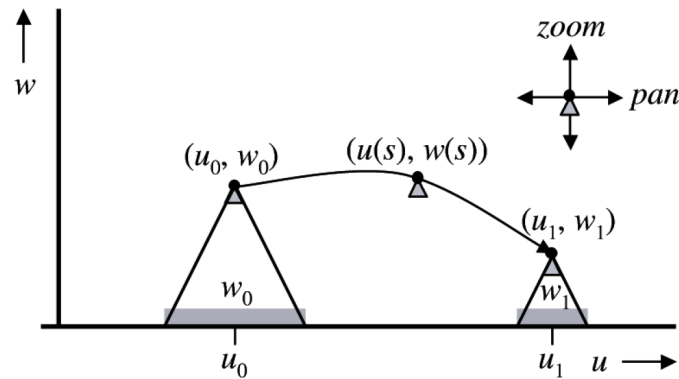
initialen und finalen Repräsentation hergestellt wird. Ein zu langsamer Übergang verschwendet jedoch Zeit des Betrachters. Die ideale Animationszeit ist von mehreren Faktoren abhängig, wie beispielsweise dem Aufgabentyp oder der Vertrautheit des Betrachters mit der Szene. Damit eine flüssige Bewegung wahrgenommen wird und die einzelnen Frames nicht mehr als diskrete Bilder erkennbar sind, werden ausreichend viele In-Between-Frames benötigt. Diese sollten außerdem rapide aufeinanderfolgen. Die Bildrate sollte also entsprechend hoch gewählt werden. Empfehlenswert sind mindestens 24-30 fps [HF08]. Zudem sollten nur Informationen enthalten sein, welche für die zu übermittelnden Prozesse relevant sind. Der Mensch kann ohnehin nur grundlegendste Muster während einer Animation wahrnehmen und eine überschaubare Menge an Informationen im visuellen Kurzzeitgedächtnis speichern. Die gegenseitige Verdeckung von Objekten ist ebenfalls unvorteilhaft. Durch eine Maximierung der Vorhersehbarkeit wird die kognitive Belastung beim Nachverfolgen der Animation ebenfalls reduziert [HR07]. Konkret bedeutet dies, dass der Zielzustand vorhersagbar sein sollte, nachdem ein Teil des Übergangs sichtbar war. Dabei ist ein *Slow-in- und Slow-out-Timing* förderlich, bei dem die Transitionschwindigkeit am Anfang langsam ansteigt, in der Mitte konstant ist und zum Ende hin wieder abnimmt. Hierdurch sind Start- und Endzustand betont. Durch die Beschleunigung ist zudem die räumliche Vorhersehbarkeit verbessert. Außerdem ist in der Mitte einer animierten Transition der Perspektive eine Ansicht sinnvoll, bei der Start- und Zielpunkt gezeigt werden [TS18]. Weiterhin wird zur Vermeidung unvorhersehbarer Bewegungspfade geraten [HR07]. Harrower et al. [HF08] erläutern, dass sich die Gesamtkomplexität von Kartenanimationen aus mehreren Faktoren zusammensetzt. Dazu gehört die *räumliche Heterogenität*, also die Komplexität der dargestellten räumlichen Muster. Ebenso spielt auch die *zeitliche Komplexität*, also die Komplexität der Änderungsmuster, eine Rolle.

Nach dem zweiten von Tversky et al. vorgeschlagenen Prinzip, dem *Congruence Principle*, sollten die Struktur und der Inhalt der externen, visuellen Repräsentation zusätzlich der internen Repräsentation, d.h. der Bedeutung der zugrundeliegenden Datenwerte und Zusammenhänge, entsprechen. Bei Animationen ist dazu eine Übereinstimmung zwischen der sichtbaren Änderung über die Zeit und der Änderung der zu übermittelnden Information unabdingbar. Falls ausschließlich eine Transformation des Sichtpunktes gezeigt wird, verändern sich die Daten der zugrundeliegenden Grafik nicht. Trotzdem sollten alle Interpolationszustände aus der zugehörigen Perspektive korrekt repräsentiert werden. Auch die Konsistenz der visuellen Repräsentation von Datenpunkten mit gleicher Bedeutung sollte über die Animation hinweg garantiert sein [HR07].

### 2.2.3. Optimaler Kamerapfad

Eine animierte Transition zwischen zwei Ansichten in einem zweidimensionalen Informationsraum ist als Flug einer virtuellen Kamera über diesen vorstellbar. Van Wijk und Nuij [VN04] beschreiben, wie ein optimaler Kamerapfad für eine möglichst flüssige und gut zu verstehende Transition gestaltet sein sollte und berechnet werden kann.

Dieser wird im Folgenden im sogenannten *uw-Raum* beschrieben (siehe Abbildung 2.1). Hierbei bezieht sich  $u$  auf die Position, über der sich die virtuelle Kamera im 2D-Raum befindet. Durch diese Variable kann das Schwenken, d.h. das Verschieben der Kamera, beschrieben werden.  $w$  bezieht sich auf die Breite des aktuell gezeigten Ausschnitts und hängt damit mit der Skalierung, d.h. der Höhe der Kamera über der 2D-Darstellung zusammen. Je kleiner  $w$ , desto größer ist der Skalierungsfaktor.



**Abbildung 2.1.:** uw-Raum zur Beschreibung der Position und Höhe der Kamera.  
Bild aus [VN04, S.449]

Bezeichne  $M \subset \mathbb{R}^2$  den Raum der gesamten 2D-Grafik und  $A \subseteq M$  den sichtbaren Ausschnitt, der von der Kamera erfasst wird. Das Zentrum von  $A$ , bzw. die Position der Kamera über der Darstellung, ist jeweils durch  $c = (c_x, c_y) \in A$  gekennzeichnet und die Breite von  $A$  durch  $w$ .

Bei einer animierten Transition findet ein Übergang von einem initialen Ausschnitt  $A_0$  zum finalen Ausschnitt  $A_1$  statt. Falls die Höhe jeweils der Breite entspricht, ist  $A_i$  ( $i \in \{0,1\}$ ) über das Zentrum  $c_i$  und die Breite  $w_i$  definiert wie folgt:

$$A_i = [c_{ix} - w_i/2, c_{ix} + w_i/2] \times [c_{iy} - w_i/2, c_{iy} + w_i/2]$$

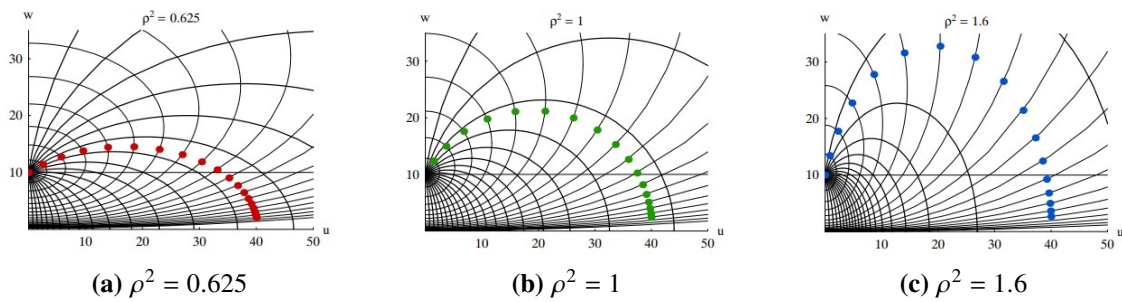
Ein optimaler Kamerapfad wird durch die Funktionen  $c(s)$  und  $w(s)$  beschrieben. Dabei ist  $s \in [0, S]$  die jeweils zurückgelegte Strecke entlang des Kamerapfades mit Gesamtlänge  $S$ . Bei einer konstanten Animationsgeschwindigkeit  $V$  gibt es insgesamt  $S/V + 1$  Zeitschritte und entstehende Frames. Für den aktuellen Zeitschritt  $t \in [0, S/V]$  innerhalb der Animation gilt:

$$(2.1) \quad s = Vt$$

Die Funktionen  $c$  und  $w$  müssen also folgende Randbedingungen erfüllen:

$$\begin{aligned} c(0) &= c_0 & w(0) &= w_0 \\ c(S) &= c_1 & w(S) &= w_1 \end{aligned}$$

Für eine zurückgelegte Distanz  $s$  entlang des Kamerapfades im uw-Raum beschreibt die Funktion  $u(s)$  die zurückgelegte Distanz entlang der geraden Verbindungslinie zwischen  $c_0$  und  $c_1$  im 2D-Raum. Es ist also  $u \in [u_0, u_1]$  mit  $u_0 = 0$  und  $u_1 = \|c_1 - c_0\|$ . Die Position im 2D-Raum, über der sich die Kamera bei zurückgelegter Distanz  $s$  befindet, lässt sich daher wie folgt berechnen:



**Abbildung 2.2.:** Beispielhafte Darstellung eines Kamerapfades für 3 verschiedene Werte von  $\rho$   
(Bild aus [VN04, S.452])

$$(2.2) \quad c(s) = c_0 + \frac{c_1 - c_0}{\|c_1 - c_0\|} u(s)$$

Ein optimaler Kamerapfad zeichnet sich nach der Definition von van Wijk und Nuij durch *Flüssigkeit* und *Effizienz* aus. *Flüssigkeit* bezieht sich auf die Stetigkeit des Kamerapfades und setzt das Ausbleiben plötzlicher Schritte oder Richtungswechsel voraus. Der Betrachter soll den Eindruck einer möglichst ruckelfreien und kontinuierlichen Bewegung bekommen. *Effizienz* kann durch einen möglichst kurzen Kamerapfad im  $uw$ -Raum erreicht werden. Die von Van Wijk und Nuij aufgestellte Metrik erlaubt es, jeweils die von der Kamera zurückgelegte Distanz für verschiedene Änderungen der Werte von  $u$  und  $w$  zu berechnen. Über diese leiteten die Autoren die Funktionen  $u(s)$  und  $w(s)$  im Sinne eines optimalen Kamerapfades her. Diese erfüllen neben den genannten Randbedingungen eine aus der Metrik abgeleitete Differentialgleichung für die Optimierung der Flüssigkeit und gewährleisten eine minimale Pfadlänge  $S$ . Für den Fall  $u_0 \neq u_1$ , welcher für diese Arbeit der einzig relevante ist, gilt:

$$(2.3) \quad u(s) = \frac{w_0}{\rho^2} \cosh r_0 \tanh(\rho s + r_0) - \frac{w_0}{\rho^2} \sinh r_0 + u_0$$

$$(2.4) \quad w(s) = \frac{w_0 \cosh r_0}{\cosh(\rho s + r_0)}$$

$$(2.5) \quad S = \frac{(r_1 - r_0)}{\rho}$$

$$(2.6) \quad r_i = \ln(-b_i + \sqrt{b_i^2 + 1}), \quad i \in \{0, 1\}$$

$$(2.7) \quad b_i = \frac{w_1^2 - w_0^2 + (-1)^i \rho^4 (u_1 - u_0)^2}{2 w_i \rho^2 (u_1 - u_0)}, \quad i \in \{0, 1\}$$

Über den Parameter  $\rho$  lässt sich die Stärke des Schwenkens und Zoomens gegeneinander abwägen. Je größer der Betrag von  $\rho$ , desto stärker wird gezoomt und je kleiner der Betrag von  $\rho$ , desto stärker ist die Kamerabewegung durch Schwenken bestimmt. Abbildung 2.2 zeigt, wie sich die Form des Kamerapfades in Abhängigkeit von  $\rho$  verändert. Für  $\rho = 1$  ist der Pfad Teil eines Kreises. Für kleinere Werte fällt er flacher aus und für größere Werte ergibt sich eine Dehnung in die Höhe.

## 2. Grundlagen

---

Mit Hilfe von Gleichung (2.1) lässt sich für jeden Zeitschritt  $t$  die zurückgelegte Distanz  $s$  berechnen. Über diese kann die Breite  $w$  (siehe Gleichung (2.4)) berechnet und daraus die Skalierung abgeleitet werden. Die Kameraposition  $c$  kann nach der Bestimmung von  $u$  (siehe Gleichung (2.3)) über Gleichung (2.2) berechnet werden.

Da es sich bei  $\rho$  und der Animationsgeschwindigkeit  $V$  um Parameter handelt, die von der subjektiven Wahrnehmung abhängen, führten Van Wijk und Nuij eine Nutzerstudie durch, um geeignete Werte für diese zu finden. Hier lag der durchschnittliche präferierte Wert für  $\rho$  bei 1.42, wodurch am höchsten Punkt eine Breite  $w$  gegeben ist, mit der sowohl  $c_0$  als auch  $c_1$  im sichtbaren Ausschnitt liegen. Der durchschnittliche präferierte Wert für  $V$  lag bei 0.9. Beide Werte werden auch für die Animationen dieser Arbeit verwendet.

## 2.3. Kartenprojektionen

### 2.3.1. Grundbegriffe der mathematischen Geographie

Es gibt gewisse Grundbegriffe und Konzepte in der mathematischen Geographie, die für das Verständnis von Kartenprojektionen hilfreich sind. Diese werden im Folgenden in Anlehnung an die Erklärungen von Lapaine et al. [LU17] beschrieben.

Ein *Großkreis* ist ein Kreis maximalen Umfangs auf der Oberfläche der Erdkugel, der diese immer in zwei gleich große Hälften, auch *Hemisphären* genannt, teilt. Eine *Geodäte* ist die Kurve, die die kürzeste Route zwischen zwei Punkten auf dem Globus darstellt. Diese ist immer Teil eines Großkreises.

Das geographische Koordinatensystem basiert, wie in Abbildung 2.3 dargestellt, auf einem künstlichen, über die Erdoberfläche gelegten Netz. Dieses besteht u.a. aus *Meridianen*, die jeweils entlang halber Großkreise zwischen dem Nord- und Südpol verlaufen. Außerdem gehören *Breitenkreise* dazu, die in zur Äquatorebene parallelen Ebenen liegen und damit parallel zueinander und äquidistant über die Globusoberfläche verteilt sind. Zu den Polen hin nimmt der Umfang immer weiter ab. An den Polen selbst sind es nur noch Punkte. Die Schnittwinkel zwischen den Meridianen an den Polen sind alle gleich, weshalb sie auf derselben Höhe jeweils den gleichen Abstand zueinander haben. Außerdem schneiden sie jeden Breitenkreis im rechten Winkel.

Der *Azimut* eines Punktes  $B$  bei einem Punkt  $A$ , ist der Winkel von Norden zwischen dem Meridian bei  $A$  und der Geodäte von  $A$  nach  $B$ . Er wird oft auch als *Peilung* von  $A$  nach  $B$  bezeichnet und verwendet, um die entsprechende Richtung zu quantifizieren. Eine *Loxodrome* ist ein Streckenverlauf auf der Weltkugel, der die Meridiane durchgehend im selben Winkel schneidet. Diese ist zwar in den meisten Fällen eine komplexe Kurve und länger als die zugehörige Geodäte. Allerdings muss für das Verfolgen der Loxodrome kein ständiger Kurswechsel erfolgen, sondern konstant nur eine Kompassrichtung eingehalten werden.

Punkte auf der Erde werden über *geographische Koordinaten* referenziert, die sich jeweils aus der *Länge*  $\lambda$  und *Breite*  $\phi$  zusammensetzen. Die Länge, die in Grad oder im Bogenmaß angegeben werden kann, misst den Abstand des Punktes zum zentral gewählten Meridian. Sie kann einen Wert zwischen  $-180^\circ$  (bzw.  $-\pi$ ) und  $+180^\circ$  (bzw.  $+\pi$ ) annehmen. Bei negativen Werten ist der Abstand in Richtung Westen und bei positiven Werten der Abstand in Richtung Osten gemeint. Die Breite kann

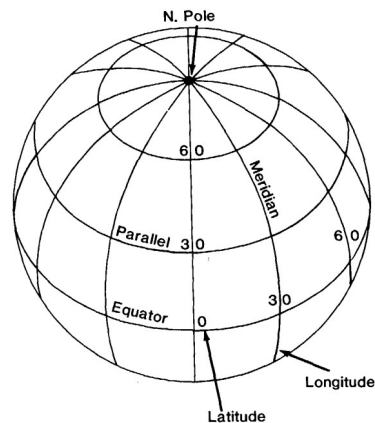


Abbildung 2.3.: Geographisches Koordinatensystem. Bildquelle: [Sny87, S.9]

einen Wert zwischen  $-90^\circ$  (bzw.  $-\pi/2$ ) und  $+90^\circ$  (bzw.  $+\pi/2$ ) annehmen. Bei positiven Werten ist der Abstand vom Äquator in Richtung Norden und bei negativen Werten in Richtung Süden gemeint.

### 2.3.2. Definition von Kartenprojektionen

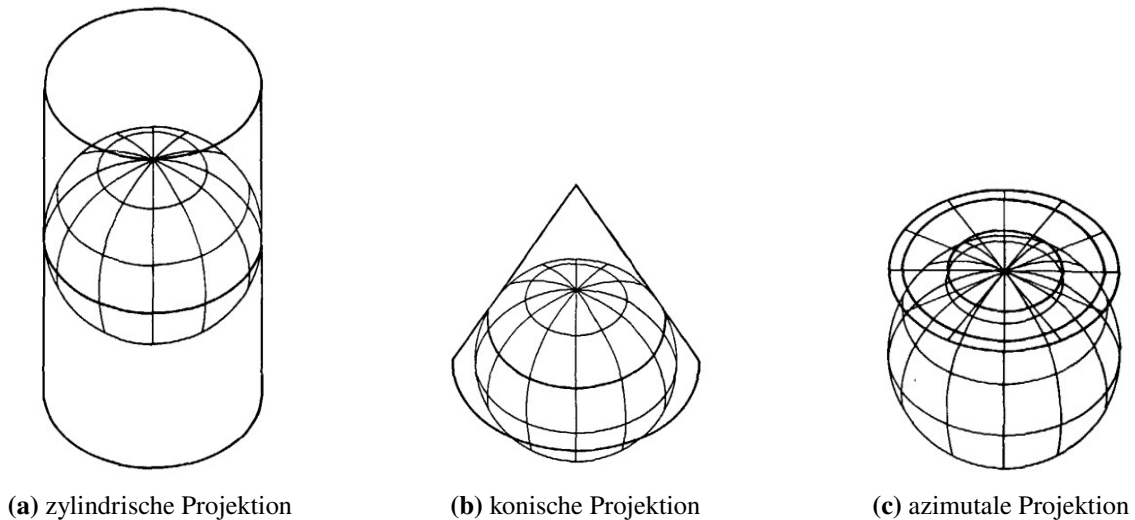
Snyder et al. [Sny97] [Sny87] definieren die Grundkonzepte von Kartenprojektionen. Eine *Kartenprojektion* ist demnach die systematische Repräsentation der Oberfläche der Erdkugel, oder Teilen von dieser, auf einer ebenen Oberfläche bzw. Karte. Zur Referenzierung von Punkten auf einer Karte wird ein zweidimensionales *kartesisches Koordinatensystem* genutzt. Die x-Achse ist mit dem Breitenkreis auf der Breite  $\phi$  des zentral gewählten Punktes der Projektion assoziiert. Der projizierte Meridian bei Länge  $\lambda$  des zentral gewählten Punktes liegt in der y-Achse. Der x-Wert nimmt üblicherweise für projizierte Punkte nach Osten hin zu und nach Westen ab. Der y-Wert nimmt für gewöhnlich nach Norden hin zu und nach Süden ab. Mathematisch gesehen ist eine Kartenprojektion also eine Funktion, die je einen Punkt  $(\lambda, \phi)$  auf der Erde auf einen Punkt  $(x, y)$  einer gegebenen Karte abbildet. Das *Kartennetz* ist die Gesamtheit aller Meridiane und Breitenkreise, die auf der Karte gezeigt werden.

### 2.3.3. Klassifizierung

Es gibt verschiedene Kriterien, nach denen Kartenprojektionen klassifiziert werden können.

Eine Möglichkeit ist die Unterscheidung anhand des resultierenden Kartennetzes. Die Meridiane können entweder durch gerade Linien oder durch Kurvenformen, konkav zum zentralen Meridian, dargestellt werden. Die Breitenkreise können in der Karte ebenfalls durch gerade Linien oder Bögen, konkav zu den nächsten Polen, repräsentiert werden. [ŠJWS15]

Außerdem kann nach dem geometrischen Körper, auf den der Globus abgebildet wird, klassifiziert werden. Bei *zylindrischen Projektionen* wird die Weltkugel, wie in Abbildung 2.4a dargestellt, auf einen umliegenden Zylinder abgebildet. Wird dieser aufgeschnitten, dann erhält man eine rechteckige Karte. Bei *konischen Projektionen* erfolgt die Abbildung auf einen Kegel (siehe Abbildung 2.4b).



**Abbildung 2.4.:** Unterscheidung von Kartenprojektionen nach geometrischem Körper.  
Abbildungen aus [Sny87, S.6].

Um eine Karte mit rundem Umriss zu erhalten, kann eine *azimutale Projektion* verwendet werden. Bei azimutalen Projektionen wird auf eine tangential zum Globus angelegte Fläche abgebildet (siehe Abbildung 2.4c). Hierdurch werden Azimute vom Projektionszentrum zu jedem anderen Punkt korrekt dargestellt. Zudem werden alle Großkreise, die durch den Zentralpunkt der Projektion führen, als gerade Linien gezeigt. [Sny87]

Jede Projektion stellt gewisse Eigenschaften der Weltkugel verzerrt dar. Hierbei handelt es sich entweder um Formen, Flächen, Distanzen oder Richtungen. Lapaine et al. [LU17] beschreiben die Kategorisierung von Projektionen nach Eigenschaften, die durch diese jeweils erhalten werden. Bei *flächentreuen* Projektionen werden relative Größen, bzw. der relative Flächeninhalt, von Regionen zueinander erhalten. Bei *formtreuen* oder auch *winkeltreuen* Projektionen werden lokale Winkel an jedem Punkt einer Karte und somit auch die Länderformen korrekt, wie auf der Weltkugel auftretend, dargestellt. Auf einer Karte, die über eine formtreue Projektion entsteht, schneiden sich Meridiane und Breitenkreise beispielsweise, wie auf dem Globus, im rechten Winkel. Auf Karten, die durch *abstandstreue* Projektionen gewonnen werden, entspricht die gemessene Distanz von einem oder zwei Punkten zu allen anderen Punkten der tatsächlichen Großkreisdistanz auf der Erde im jeweiligen Kartenmaßstab. Bei *richtungstreuen* Projektionen wird an einem oder zwei Punkten der Azimut bezüglich aller Punkte erhalten.

### 2.3.4. Ansichten

Je nach gewähltem Zentralpunkt auf der Erde sind verschiedene Ansichten für die Projektionen möglich, welche von Snyder und Parr [Sny87] erläutert werden. Das resultierende Kartennetz unterscheidet sich für unterschiedliche Ansichten. Die Standardansicht ist nicht für jede Projektion gleich. Für zylindrische Projektionen ist beispielsweise ein Projektionszentrum auf dem Äquator üblich. Der Äquator berührt den umliegenden Zylinder dabei, wie in Abbildung 2.4a zu sehen ist, entlang des gesamten Umfangs. Das Kartennetz besteht in diesem Fall aus geraden, symmetrisch um den zentralen Meridian und Äquator angeordneten Linien. Wird von der *äquatorialen Ansicht*

abgewichen und die Breite des Zentralpunktes ungleich 0 gewählt, dann werden Breitenkreise und Meridiane in der Karte als komplexe Kurven dargestellt. Deshalb wird die äquatoriale Ansicht bei zylindrischen Projektionen präferiert und ist allgemein verbreiteter. Eine Rotation der Erde um die Polarachse, um eine gewünschte Region in den Mittelpunkt der Karte zu bringen, stellt dagegen kein Problem dar. Hierbei bleibt das geradlinige Kartennetz erhalten.

Auch azimutale Projektionen können auf beliebige Punkte der Erdoberfläche zentriert werden. Hier ist dagegen die *polare Ansicht*, bei der der Berührungspunkt der Tangentialebene an der Erde auf einem der Pole liegt (siehe Abbildung 2.4c), üblich. Denn in diesem Fall sind die Breitenkreise als Kreise, konzentrisch um den Pol, dargestellt. Die Meridiane strahlen als gerade Linien, im Abstand gleicher und korrekter Winkel zueinander, vom Pol ab. Bei der *geneigten Ansicht* liegt der Berührungspunkt zwischen Pol und Äquator. Diese ist komplizierter zu konstruieren, da die Darstellung der Meridiane und Breitenkreise keinen geometrischen Standardkurven folgt. Daher ist sie weniger verbreitet.

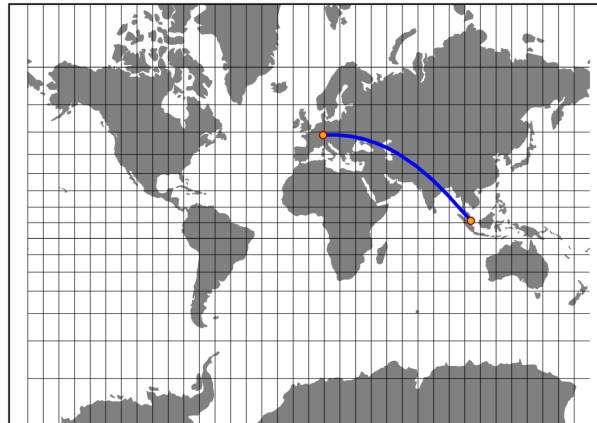
### 2.3.5. Verzerrungsmaße

Um die Winkel- und Maßstabsverzerrung an einem gegebenen Punkt P einer Karte zu quantifizieren, werden im Folgenden die in [Sny87] erläuterten Maße verwendet. Zur Angabe der Winkelverzerrung bezeichne  $\omega$  die größte Winkelabweichung für P. Diese wird aus allen möglichen Schnittlinien in P über die zwei Linien, deren Schnitt auf der Karte die größte Abweichung zum tatsächlichen Schnittwinkel in diesem Punkt auf der Erde aufweist, festgelegt. Der Wert von  $\omega$  entspricht dieser Abweichung. Bei einer winkeltreuen Karte gilt folglich für jeden Punkt  $\omega = 0$ .

Zur Angabe der Maßstabsverzerrung bei P werden die *Skalierungsfaktoren* h und k eingesetzt. Diese geben das Verhältnis des Maßstabes bei P entlang des Meridians oder Breitenkreises auf dem der P liegt zum wahren Maßstab, entlang einer maßstabsgetreuen Standardlinie, an. Dabei bezieht sich h auf das Maßstabsverhältnis entlang von Meridianen und k auf das Verhältnis entlang von Breitenkreisen. An einem Punkt liegt keine Maßstabsverzerrung vor, wenn  $h=1$  und  $k=1$  gilt.

### 2.3.6. Mercator-Projektion

Gerardus Mercator schuf mit der im Jahr 1569 präsentierten *Mercator-Projektion* eine zylindrische Projektion, bei der, durch Erhöhung der vertikalen Skalierung polwärts, alle Loxodrome als gerade Linien abgebildet werden. Da hierdurch die horizontale Dehnung, die bei der zylindrischen Projektion in Richtung der Pole entsteht, ebenso in die Vertikale stattfindet, ist die Mercator-Projektion zudem formtreu. Hieraus resultiert jedoch eine enorme Flächenverzerrung in Richtung der Pole. Auch Distanzen werden zu den Polen hin, proportional zur wachsenden Skalierung, fortlaufend vergrößert. In der äquatorialen Standardansicht können die Pole nicht gezeigt werden, da sie in unendliche Entfernung zum Äquator projiziert werden. Mit einer Karte, die durch die Mercator-Projektion entsteht, kann ein konstanter Kurs aber relativ leicht, über eine gerade Linie, bestimmt werden. Die Mercator-Projektion wird deswegen seit dem 16. Jahrhundert für Seekarten benutzt und wurde auch für allgemeine Weltkarten immer populärer. Jeder Großkreis, der weder entlang eines Meridians, noch entlang eines Breitenkreises verläuft, schneidet die Meridiane über seinen Verlauf hinweg in unterschiedlichen Winkeln. Eine Geodäte wird daher also nicht als gerade Linie abgebildet, wenn sie nicht entlang eines Meridians oder Breitenkreises verläuft. Außerdem sind Entfernungen



**Abbildung 2.5.:** Weltkarte basierend auf der Mercator-Projektion. (Erstellt mit d3.js [Bos12] und Länderpolygonen von NaturalEarth [KP])

zwischen zwei Punkten in normaler Ansicht nur korrekt, wenn die zugehörige Geodäte auf dem Äquator liegt. [LU17] Abbildung 2.5 zeigt ein über die Mercator-Projektion entstandenes Abbild der Erde, auf der die blaue Kurve die Geodäte zwischen Stuttgart und Singapur repräsentiert.

Snyder und Parr [Sny87] gehen auf die Berechnung von kartesischen Koordinaten und Verzerrung ein. Bezeichne dazu  $\lambda_0$  die Länge des zentral gewählten Meridians und  $R$  den Radius der Weltkugel im Kartenmaßstab. Des Weiteren sei ein Punkt  $P(\lambda, \phi)$  auf dem Globus gegeben, wobei Länge  $\lambda$  und Breite  $\phi$  im Bogenmaß angegeben sind. Für die äquatoriale Ansicht lassen sich die rechtwinkligen Koordinaten  $(x, y)$  von  $P$  über die Mercator-Projektion wie folgt berechnen:

$$x = R (\lambda - \lambda_0)$$
$$y = R \ln \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

Weiterhin gilt für die Maßstabsverzerrung:

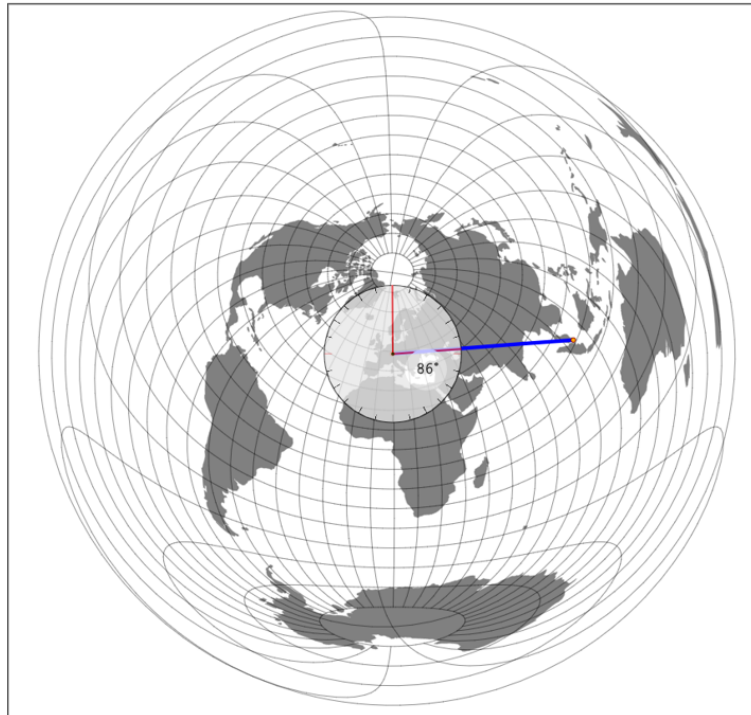
$$h = k = \frac{1}{\cos \phi}$$

Für  $\phi \rightarrow 0$  gilt daher  $h \rightarrow 1$  und  $k \rightarrow 1$ . An Punkten in der Nähe des Äquators liegt also fast kein Skalierungsfehler vor. Für  $\phi \rightarrow \frac{\pi}{2}$  und  $\phi \rightarrow -\frac{\pi}{2}$  folgt dagegen  $h \rightarrow \infty$  und  $k \rightarrow \infty$ , worin sich eine enorme Maßstabsverzerrung zu den Polen hin spiegelt. Der Skalierungsfaktor für Flächen kann über  $k^2$  berechnet werden.

Was die Winkelverzerrung angeht, gilt dagegen aufgrund der Winkeltreue, für alle Punkte auf der Karte:

$$\omega = 0$$



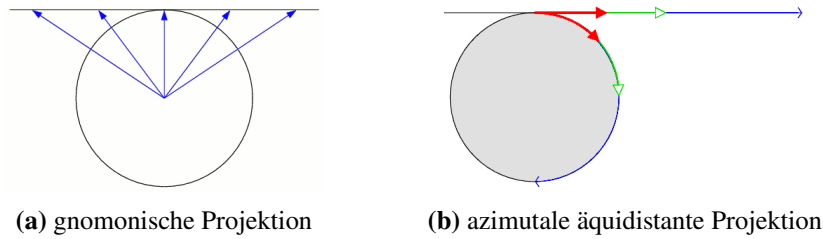


**Abbildung 2.6.:** Karte basierend auf azimutaler äquidistanter Projektion (Erstellt mit d3.js [Bos12] und Länderpolygonen von NaturalEarth [KP])

### 2.3.7. Azimutale äquidistante Projektion

Unter den azimutalen Projektionen gibt es zwar echte perspektivische Projektionen, bei denen die Abbildung auf die Bildebene über Strahlen von einem Augpunkt aus erfolgt. Ein Beispiel hierfür ist die gnomonische Projektion (siehe Abbildung 2.7a). Die *azimutale äquidistante Projektion* zählt jedoch nicht dazu. Hier wird ein gegebener Punkt auf der Erde, wie in Abbildung 2.7b gezeigt, immer in einer Distanz vom Zentrum der Karte, die proportional zur Distanz vom Berührungspunkt zum gegebenen Punkt auf der Kugel ist, abgebildet [Sny87]. Dadurch entspricht die Entfernung, gemessen entlang gerader Linien zwischen dem Kartenmittelpunkt und jedem anderen Punkt, der Großkreisentfernung auf der Erde im Kartenmaßstab. Wie bei den anderen azimutalen Projektionen werden Großkreispfade, die durch das Zentrum gehen, als gerade Linien abgebildet und haben den korrekten Azimut am Zentrum. Die azimutale äquidistante Projektion ist somit richtungstreu. Abbildung 2.6 zeigt ein Abbild eines Teils der Erde, gewonnen durch die azimutale äquidistante Projektion. Der Zentralpunkt liegt auf Stuttgart. Die Geodäte nach Singapur ist als gerade Linie (in blau) dargestellt. Die Peilung von Stuttgart nach Singapur (ca.  $85.64^\circ$ ) kann auf der Karte (wie in der Abbildung beispielhaft dargestellt) direkt in Bezug zum Nordpol abgemessen werden. Bei der Mercator-Projektion (siehe Abbildung 2.5) ist das augenscheinlich nicht der Fall.

Allerdings ist die azimutale äquidistante Projektion weder flächen- noch winkeltreu. Vor allem in der Peripherie der Karte werden Länderformen stark verzerrt dargestellt. Daher ist es nicht empfehlenswert, mehr als eine Hemisphäre abzubilden. [LU17]



**Abbildung 2.7.:** Konstruktion azimuthaler Projektionen, Quelle: [Roh]

Auch für diese Projektion geben Snyder und Parr [Sny87] die Berechnung von kartesischen Koordinaten und Verzerrung an. Bezeichne dazu  $\lambda_0$  die Länge und  $\phi_0$  die Breite eines beliebig gewählten Zentralpunktes im Bogenmaß und  $R$  den Radius der Weltkugel im Kartenmaßstab. Des Weiteren sei ein Punkt  $P(\lambda, \phi)$  auf dem Globus gegeben, wobei Länge  $\lambda$  und Breite  $\phi$  im Bogenmaß angegeben sind. Die rechtwinkligen Koordinaten  $(x, y)$  von  $P$  lassen sich nun über die azimuthale äquidistante Projektion berechnen wie folgt:

$$x = R k' \cos \phi \sin(\lambda - \lambda_0)$$

$$y = R k' [\cos \phi_0 \sin \phi - \sin \phi_0 \cos \phi \cos(\lambda - \lambda_0)]$$

Hierbei bezeichnet  $k'$  den Skalierungsfaktor in eine Richtung senkrecht zum Radius der Karte vom Zentrum aus. Dieser lässt sich mit Hilfe der Winkeldistanz  $c$  zwischen  $P$  und dem Zentralpunkt wie folgt berechnen:

$$k' = \frac{c}{\sin c}$$

Im Kartenzentrum ( $c = 0$ ) ist  $k' = 1$ . Hier liegt also noch kein Skalierungsfehler in diese Richtung vor. Zur Peripherie hin steigt  $k'$  immer weiter an. Würde man die gesamte Welt abbilden wollen, dann ginge  $k'$  zum Kartenrand hin, also für  $c \rightarrow \pi$ , gegen unendlich.

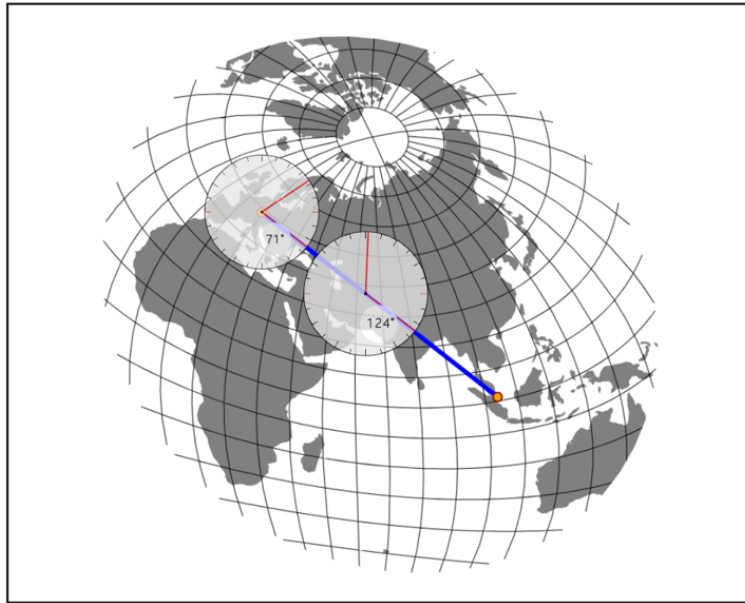
Gleichzeitig herrscht aber Distanztreue vom Zentralpunkt aus. Für den Skalierungsfaktor  $h'$ , in Richtung des Radius, gilt daher für alle Punkte der Karte:

$$h' = 1.0$$

Dies erklärt die deutliche Formverzerrung zum Rand der Karte hin. Die maximale Winkelverzerrung lässt sich über folgende Gleichung herleiten:

$$\sin\left(\frac{1}{2\omega}\right) = \frac{(c - \sin c)}{(c + \sin c)}$$

Diese liegt im Zentrum bei 0 und wird nach außen hin immer größer. Bei  $c = \pi$  liegt sie schließlich bei 180 Grad.

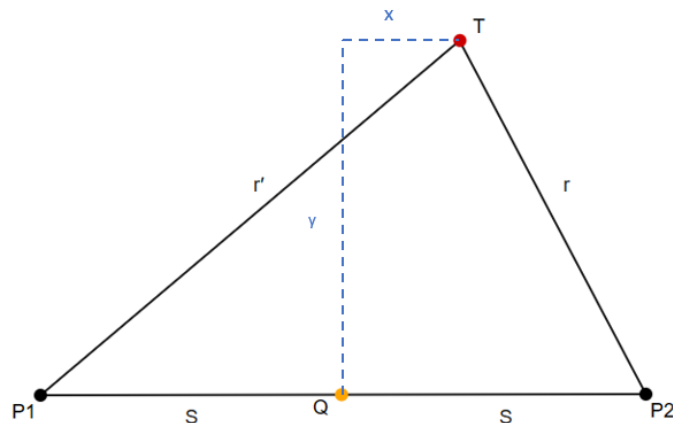


**Abbildung 2.8.:** Karte basierend auf doppelt-äquidistanter Projektion (Erstellt mit d3.js [Bos12] und Länderpolygonen von NaturalEarth [KP])

### 2.3.8. Doppelt-äquidistante Projektion

Bei der *doppelt-äquidistanten Projektion* handelt es sich um die einzige Projektion, die Distanzen bezüglich zweier Punkte auf der Karte erhält [LU17]. Sie wurde 1919 das erste Mal von Hans Maurer beschrieben. Die Projektion ist jeweils über zwei Punkte, die auch als *Fokuspunkte* bezeichnet werden, festgelegt. Diese können beliebig gewählt werden. Zwar repräsentieren die Längen einer jeden geraden Linie von einem der Fokuspunkte zu jedem anderen Punkt die jeweilige Großkreisdistanz zwischen den Punkten. Die Linien verlaufen allerdings, im Gegensatz zur azimutalen äquidistanten Projektion, fast nie entlang der tatsächlichen Großkreispfade. Der Großkreis, der die beiden Fokuspunkte verbindet, wird aber immer als gerade Linie zwischen den Punkten dargestellt. Entlang der gesamten Länge dieser Linie herrscht Maßstabtreue. Je weiter die Fokuspunkte auseinander liegen, desto mehr wird der ellipsenförmige Umriss der entstehenden Karte auseinander gedehnt. Es besteht, wie bei der azimutalen äquidistanten Projektion, weder Winkel- noch Flächentreue, was sich vor allem am Rand bemerkbar macht. [Sny97]

Im Falle von zwei identischen Fokuspunkten entspricht sie der azimutalen äquidistanten Projektion [Tho70]. Andernfalls ist sie von keinem der beiden Fokuspunkte aus richtungstreu. Abbildung 2.8 zeigt ein, auf der doppelt-äquidistanten Projektion basierendes, Abbild der Erde. Als Fokuspunkte wurden Stuttgart und Singapur gewählt. Die zugehörige Geodäte wird also als gerade Linie (in blau) abgebildet. Die Peilung von Stuttgart nach Singapur (ca.  $85.64^\circ$ ) ist nicht, wie für die azimutale äquidistante Projektion (siehe Abbildung 2.6), über den Bezug zum Nordpol ersichtlich (siehe Winkelmessung von  $71^\circ$  in Abbildung 2.8). Erst für einen Punkt, an dem auch der Meridian relativ geradlinig abgebildet wird (etwa beim Punkt der zweiten Winkelmessung in Abbildung 2.8) kann der Azimut nach Singapur korrekt abgemessen werden.



**Abbildung 2.9.:** Konstruktion der doppelt-äquidistanten Projektion, eigene Darstellung in Anlehnung an [Tho70]

Maurer selbst formulierte einen beispielhaften Zweck der Projektion wie folgt: *'to read on a map, true to scale, by how many sea-miles the distances from one place in the Atlantic to a place in the Pacific differ when traveling via Panama, Cape Horn or the Magellan Strait'* [Sny97, S.234].

Thomas [Tho70] beschreibt das Prinzip zur Konstruktion und Berechnung der Projektion. Seien dazu die Fokuspunkte  $P_1$  und  $P_2$  in geographischen Koordinaten gegeben. Ein beliebiger Punkt  $T$  auf der Erde bildet mit den beiden Fokuspunkten ein sphärisches Dreieck, welches in einer Ebene nachkonstruiert wird (siehe Abbildung 2.9). Dieses setzt sich aus den Großkreisbögen  $P_1P_2$  mit Länge  $2S$ ,  $P_1T$  mit Länge  $r'$  und  $P_2T$  mit Länge  $r$  zusammen. Der Punkt  $Q$  bezeichne den Punkt auf halber Strecke zwischen  $P_1$  und  $P_2$ . Zunächst wird  $P_1P_2$  als gerade Linie, mit einer zur Großkreisdistanz maßstabsgetreuen Länge, gezeichnet. Da die Linie entlang ihrer gesamten Länge maßstabsgetreu ist, liegt  $Q$  in der Mitte dieser Linie.

Der Punkt  $T$  wird nun bezüglich dieser Grundlinie, auf einen Schnittpunkt von Kreisbögen mit Radien  $r'$  und  $r$  (im Kartenmaßstab) um  $P_1$  und  $P_2$ , abgebildet. Für  $r$ ,  $r'$  und  $S$  (im Kartenmaßstab) können die zweidimensionalen Koordinaten  $(x, y)$  für  $T$ , bezüglich des Punktes  $Q$ , wie folgt berechnet werden:

$$x = \frac{1}{4S} (r'^2 - r^2)$$

$$y = \pm \frac{1}{4S} \left[ 16S^2 r'^2 - (r'^2 - r^2 + 4S^2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

## 2.4. Konfidenzintervalle

Bei Studien kann man in der Regel nur Daten zu einer *Stichprobe* aller Objekte, über die man Schlüsse ziehen möchte, der sogenannten *Population* erheben. Um aus den Stichprobendaten die tatsächlichen Werte der Population zu approximieren, verwendet man *Schätzverfahren*.

Bei der *Intervallschätzung* wird ein Bereich geschätzt, der mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1-\alpha$ , dem *Konfidenzniveau*, den unbekannt Parameter  $\Theta$  der Population enthält. Mit einer *Irrtumswahrscheinlichkeit* von  $\alpha$  ist er nicht enthalten. Man erhält ein *Konfidenzintervall*.

### 2.4.1. Konstruktion

Die Hintergründe zur Konstruktion eines Konfidenzintervalls werden im Folgenden, basierend auf den Erklärungen von Krol [Kro12], erläutert.

Ein Konfidenzintervall wird ausgehend von einem *Punktschätzer*, also einem einzelnen, aus der Stichprobe ermittelten Schätzwert  $\hat{\Theta}$  für  $\Theta$ , berechnet. Sei nun ein in der Population normalverteiltes Merkmal mit Erwartungswert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma$  gegeben, welche beide unbekannt sind. Dann lässt sich der Punktschätzer für  $\mu$  über den Mittelwert  $\bar{x}$  aus allen Werten der Stichprobe berechnen.

Die untere Grenze  $\bar{x}_u$  und die obere Grenze  $\bar{x}_o$  des Konfidenzintervalls sollten so bestimmt werden, dass  $\mu$  mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1-\alpha$  in diesem enthalten ist. Hierzu zieht man die Verteilung des Stichprobenmittels  $\bar{X}$  heran und bestimmt die Grenzen so, dass die Fläche unter dieser, zwischen oberer und unterer Grenze, so groß ist wie das Konfidenzniveau:

$$P(\bar{x}_u \leq \bar{X} \leq \bar{x}_o) = 1 - \alpha$$

Denn  $\bar{X}$  hat Erwartungswert  $\mu$  und kann aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes für ausreichend große Stichprobengrößen als normalverteilt angenommen werden. Die Standardabweichung  $\sigma_{\bar{X}}$  von  $\bar{X}$  lässt sich mit Hilfe der Stichprobenstandardabweichung  $s$  (statt  $\sigma$ ) sowie der Stichprobengröße  $n$  wie folgt approximieren:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Die normalverteilte Zufallsvariable  $\bar{X}$  kann außerdem in eine standardnormalverteilte Zufallsvariable  $Z$  überführt werden:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_{\bar{X}}}$$

Mit dem  $(1 - \frac{\alpha}{2})$ -Quantil  $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  der Standardnormalverteilung gilt:

$$\begin{aligned} P(-z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}}) &= 1 - \alpha \\ \Leftrightarrow P(-z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_{\bar{X}}} \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}}) &= 1 - \alpha \\ \Leftrightarrow P(\mu - z_{1-\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}} \leq \bar{X} \leq \mu + z_{1-\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}}) &= 1 - \alpha \end{aligned}$$

Mit Hilfe des Mittelwerts  $\bar{x}$  und der Standardabweichung  $\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ , der durch die Studie gewonnenen Stichprobendaten, lässt sich das Konfidenzintervall daher wie folgt berechnen:

$$[\bar{x} - z_{1-\frac{\alpha}{2}}\hat{\sigma}_{\bar{X}}; \bar{x} + z_{1-\frac{\alpha}{2}}\hat{\sigma}_{\bar{X}}]$$

## 2. Grundlagen

---

Die Breite eines Konfidenzintervalls wird durch die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ , die Standardabweichung der Stichprobe sowie durch den Stichprobenumfang  $n$  beeinflusst.

### 2.4.2. Vorteile gegenüber Hypothesentests

Bei klassischen *Hypothesentests* geht es darum, auf Basis der Stichprobe Aussagen über eine Population zu überprüfen. Die Nullhypothese  $H_0$  ist dabei die zu überprüfende Hypothese, die beim Vergleich zwischen verschiedenen Behandlungen meist beinhaltet, dass es keinen Unterschied zwischen diesen gibt. Die Alternativhypothese  $H_1$  behauptet das Gegenteil. Die Nullhypothese wird verworfen, wenn das Stichprobenergebnis nur unter einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit  $p$  durch Zufall auftreten kann. Dazu muss  $p$  kleiner als das zuvor festgelegte *Signifikanzniveau*  $\alpha$  bzw. der gemessene Unterschied zwischen den Behandlungen ausreichend groß sein. Das Signifikanzniveau gibt die Wahrscheinlichkeit für den  $\alpha$ -Fehler an, bei dem  $H_0$  verworfen wird obwohl  $H_0$  wahr ist.

Auch wenn Hypothesentests weit verbreitet sind, werden diese immer stärker kritisiert. Cumming [Cum14] erläutert, wieso ein Wechsel von den herkömmlichen Signifikanztests zu anderen Methoden, wie Konfidenzintervallen, notwendig ist, um Integrität in der Forschung zu wahren. Er kritisiert das zweigeteilte Denken und Schlussfolgern bei Hypothesentests, da nur beurteilt wird, ob ein Effekt statistisch signifikant ist oder nicht, wobei das Ausmaß des Effektes, die *Effektstärke*, außen vor gelassen wird. Diese wird bei Konfidenzintervallen über den Punktschätzer angegeben. Des Weiteren lässt sich statistische Signifikanz in den meisten Fällen durch die Änderung von Faktoren wie der Teilnehmerzahl, abhängigen Variablen, Verwerfen gewisser Ergebnisse o.ä. erreichen. Es besteht die Gefahr, dass Hypothesentests hierzu verleiten, um signifikante Ergebnisse berichten zu können.

Zwar ist für Konfidenzintervalle, genau wie für den  $p$ -Wert, zu erwarten, dass diese über verschiedene Wiederholungen eines Experimentes variieren. Die Länge von Konfidenzintervallen gibt allerdings Information über das Ausmaß von Unsicherheit. Aus einem einzelnen  $p$ -Wert dagegen lässt sich nicht abschätzen, wie stark der Wert über verschiedene Wiederholungen variiert.

### 2.4.3. Interpretation

Cumming [Cum14] erklärt außerdem, wie Konfidenzintervalle zu verstehen und interpretieren sind. Ein Konfidenzintervall, das man aus einer Stichprobe gewinnt, kann als zufälliger Zug eines Konfidenzintervalls aus einer unendlich langen Sequenz verschiedener Konfidenzintervalle, die aus einer unendlichen Anzahl an Wiederholungen des Experimentes entstanden sind, angesehen werden. Beträgt das Konfidenzniveau 95%, dann werden 95% der Konfidenzintervalle den tatsächlichen Populationsparameter beinhalten.

Die Breite eines Konfidenzintervalls zeigt die Genauigkeit der Schätzung an und kann ebenfalls über verschiedene Wiederholungen des Experiments variieren. Je kleiner das Intervall, desto größer der Beweis und desto sicherer kann man sich sein, dass der wahre Populationswert auf dem Punktschätzer oder in der Nähe liegt. Wenn es um die Schätzung von Differenzen zwischen Mittelwerten für den Vergleich verschiedener Behandlungen geht und das Konfidenzintervall nicht mit dem Wert 0 überlappt, dann kann dies als Beweis bzw. *Evidenz* für einen Unterschied gesehen werden. Im Falle eines Hypothesentests wäre das äquivalent zu  $p < \alpha$  und damit zum Verwerfen der Nullhypothese. Wenn 0 dagegen im Intervall liegt, dann ist  $p > \alpha$  und steigt, genau wie der

Beweis dafür, dass es keinen Unterschied gibt, mit der Nähe an das Stichprobenmittel an. Liegt ein Wert am Rand des Intervalls, dann ist es deutlich weniger wahrscheinlich, dass dieser dem unbekanntem Parameter entspricht, als für Werte im Zentrum. Dies bedeutet, dass sich durch eine Überlappung mit 0 ein Unterschied nicht zwingend, wie beim Hypothesentest der Fall, ausschließen lässt, sondern trotzdem ein Trend in Richtung Punktschätzer nennenswert sein kann.

Ein Konfidenzintervall definiert also eine Menge von Werten, die wahrscheinlich für den unbekanntem Populationsparameter  $\Theta$  sind, während Werte, die außerhalb liegen, verhältnismäßig unwahrscheinlich sind. Außerdem sind Werte, die näher am Zentrum, dem Punktschätzer, liegen aufgrund der angenommenen Normalverteilung um einiges wahrscheinlicher als Werte nahe des Randes. Man kann zu einer Wahrscheinlichkeit von  $1 - \alpha$  sicher sein, dass  $\Theta$  im Intervall enthalten ist.

#### 2.4.4. Bonferroni-Korrektur

Es ist nicht empfehlenswert Konfidenzintervalle, gewonnen aus denselben Daten, für verschiedene Bedingungen direkt zu vergleichen, um auf Unterschiede zwischen diesen zu schließen. Denn für die aus einem  $(1-\alpha)$ -Konfidenzintervall ableitbare Aussage ergibt sich eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ . Werden zum Vergleich nun aber zwei dieser Konfidenzintervalle parallel betrachtet, so führt dies womöglich zu einer Kumulierung der Irrtumswahrscheinlichkeiten zu  $2*\alpha$  [BAK09]. Zieht man auf diese Weise  $n$  Vergleiche, so kann dies entsprechend zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $n*\alpha$  führen. Durch die *Bonferroni-Korrektur* werden die Intervalle so verlängert, dass sie bei  $n$  Vergleichen insgesamt ein Konfidenzniveau von  $(1 - \frac{\alpha}{n})$  aufweisen.

#### 2.4.5. Bootstrapping

Beim Finden eines Konfidenzintervalls wird Information über die tatsächliche Populationsverteilung des entsprechenden Merkmals benötigt, die bei regulär konstruierten Konfidenzintervallen über eine erhaltene Stichprobe approximiert wird (siehe Parameter  $s$  und  $\bar{x}$  in Abschnitt 2.4.1). Daher können diese sehr inakkurat sein und sich wesentlich vom tatsächlich gesuchten Intervall unterscheiden [DE96]. Die echte Populationsverteilung ist äquivalent zur Verteilung, die man aus unendlich vielen Stichprobenwiederholungen erhalten würde [KG13]. In Anlehnung daran können Algorithmen eingesetzt werden, um automatisiert akkuratere *Bootstrap-Konfidenzintervalle* zu berechnen. Beim *Bootstrapping* handelt es sich, wie von Haukoos und Lewis [HL05] erklärt, um ein Verfahren, bei dem aus dem gewonnenen Datensatz eine gewisse Anzahl an neuen Datensätzen hergestellt wird. Diese *Bootstrap-Stichproben* entstehen durch zufälliges Ziehen mit Zurücklegen. Sie enthalten dieselbe Anzahl an Beobachtungen wie der originale Datensatz. Für jede Bootstrap-Stichprobe wird das arithmetische Mittel dann unabhängig berechnet. Aus der Menge der resultierenden Werte und deren Verteilung kann das Konfidenzintervall nun über verschiedene Methoden bestimmt werden.

Die einfachste Vorgehensweise beinhaltet das Ordnen der Werte und Bestimmen der  $\alpha$ - und  $(1-\alpha)$ -Quantile aus der neu gewonnenen Verteilung. Bei dieser ist allerdings mit einem vergleichsweise großen Bias zu rechnen [KG13].

## 2. Grundlagen

---

Bei der *Bias-corrected-and-accelerated*, kurz auch *BCa*-Methode, handelt es sich um eine Alternative, die zur Produktion hochakkuratere Konfidenzintervalle geeignet ist, wie DiCiccio und Efron [DE96] beschreiben. Diese beruht auf der Berechnung zweier Koeffizienten. Der *Bias-Correction*-Koeffizient sorgt für die Korrektur der Schätzung aus dem Originaldatensatz anhand der Differenz zum Mittelwert über alle neu gewonnenen Werte der Bootstrap-Stichproben. Der *Acceleration*-Koeffizient ermöglicht die Anpassung des Konfidenzintervalls an die Schiefe der Bootstrap-Stichprobenverteilung.



### 3. Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden Arbeiten vorgestellt, die sich mit relevanten Teilaspekten dieser Arbeit beschäftigen.

In der Vergangenheit befassten sich schon viele Forscher mit der Frage, wie eine animierte Änderung des Beobachtungspunktes, sei es über einer zweidimensionalen Karte oder in einem dreidimensionalen Terrain, am besten umgesetzt werden kann.

Treves und Skarlatidou [TS18] führten eine Studie zur Gestaltung der Kamerabewegung für effektive Flyover-Touren über Karten durch. Bei diesen soll der Betrachter die räumlichen Beziehungen der darunterliegenden Landschaft möglichst gut erlernen können. Der Fokus lag hierbei auf der Form des Kamerapfades und der Geschwindigkeit. Das Kartenmaterial bestand bei dieser Studie jedoch aus realistischen Luftbildaufnahmen, um die kognitive Belastung zu erhöhen. Getestet wurden ein tiefer Pfad, bei dem Start- und Endpunkt nie gleichzeitig sichtbar waren, ein hoher Pfad, bei dem dies in der Mitte der Fall war und ein hoher Pfad, bei dem die Kamera geneigt war. Alle drei Pfadarten wurden in 3 verschiedenen Geschwindigkeiten, mit einer Gesamtdauer von 4, 8 und 12 Sekunden, gezeigt. Start- und Endpunkt waren in der Karte markiert und wurden bewusst entfernt von Orientierungspunkten, wie großen Straßen oder Kreuzungen, gewählt. Des Weiteren betrug die Distanz zwischen den Punkten maximal 1053 Meter und die Aufnahmen stammten aus ländlichen Gebieten, von denen nicht zu erwarten war, dass sie den Partizipanten bekannt sind. Somit konnten die Punkte nur schwer ohne durch die Tour erlerntes Wissen über die Beziehungen zur Umgebung relokalisiert werden. Die Studie wurde vor Ort durchgeführt und die Aufgabe bestand darin, beide Punkte in der Originalkarte der Transition anzugeben. Gemessen wurde die Distanz zwischen den wahren Markierungen und den angegebenen Schätzungen. Der durchschnittliche Schätzfehler war für den tiefen Pfad je am höchsten. Hieraus schlossen Treves und Skarlatidou, dass das Einbinden eines Höhepunktes im Kamerapfad, bei dem Start- und Endpunkt zu sehen sind, eine Schlüsseleigenschaft zur Gewinnung von Überblickswissen ist. Der Effekt der Gesamtflugzeit war für das Schätzen des Endpunktes nicht signifikant und variierte für den Startpunkt je nach Pfadart. Am schlechtesten schnitt jedoch die Kombination aus tiefem Pfad und schnellster Geschwindigkeit ab. Dies führen Treves und Skarlatidou auf die Verknüpfung zweier kognitiv beanspruchender Bedingungen zurück und raten daher dennoch zu einer Reduktion der Schnelligkeit.

In weiteren Arbeiten wurden Überlegungen und Untersuchungen zum Design effektiver dreidimensionaler Karten für Flyover-Touren angestellt. Harrower und Sheesley [HS05] beschäftigten sich mit der Orientierung und der entstehenden Ortsverbundenheit bei Touren mit geneigter Kameraperspektive. Sie argumentieren dabei für Orientierungspunkte, allerdings gegen das Nutzen einer abstrakten Karte, wenn das Ziel ist, die Landschaft zu erleben und eine emotionale Bindung zur gezeigten Umgebung herzustellen. Für den reinen Aufbau einer nützlichen kognitiven Karte wird aufgrund von Informationsüberlastung und zu wenig Klarheit in den Beziehungen und Mustern der sichtbaren Strukturen ebenfalls von Realismus abgeraten. Die Autoren empfehlen außerdem Gitternetze einzublenden, um Distanz-, Größen- und Winkelrelationen besser einschätzen zu können. Ein ähnliches

### 3. Verwandte Arbeiten

---

Netz kann sich aber auch auf natürliche Weise, durch Straßen oder andere Pfade in der Umgebung, ergeben. Um Desorientierung zu vermeiden und dem Betrachter klarzumachen, wo er sich gerade befindet und in welche Richtung er blickt, wird zur Einblendung visueller Orientierungshinweise geraten. In einer darauffolgenden Studie [HS07] untersuchten sie schließlich die Effektivität verschiedener Orientierungshilfen, wie Landschaftsgitter, Beschriftungen, ein Kompass am Horizont und die Einblendung des Flugpfades. Hierbei handelte es sich um eine Präsenzstudie, wobei die Bearbeitung der Aufgaben auf Papier stattfand. Für die Stimuli wurden künstliche Landschaften generiert, womit Vorwissen über die gezeigten Orte ausgeschlossen werden konnte. Die Teilnehmer sollten zur Halbzeit der Tour die Blickrichtung auf einem Kompass markieren und hinterher den gesamten Flugpfad nachzeichnen. Für die Richtungsaufgabe erwies sich vor allem der Horizontkompass als sinnvoll, aber auch das Einblenden des Flugpfades sowie eines Landschaftsgitters. Das Beschriften der Orientierungspunkte wirkte kontraproduktiv. Für die Rekonstruktion des Pfades waren vor allem das Einblenden des Pfades, aber auch der Horizontkompass hilfreich. Beschriftungen führten auch hier zu einer Verschlechterung der Performanz.

In der Studie von Midtbø und Nordvik [MN07] wurde die Effektivität der Animation von Zoom-Operatoren über Karten untersucht und mit der Umsetzung derselben in diskreten Schritten verglichen. Das Zoomen wurde, ähnlich wie in den Stimuli unserer Studie, von leichtem Schwenken begleitet. Die Studie wurde ebenfalls online durchgeführt. Die Videos zeigten jeweils das Zoomen in einen Teil der Karte, woraufhin ein Punkt markiert wurde, welcher nach dem Herauszoomen in einer großen Karte, aus welcher der gewählte Ausschnitt stammte, angegeben werden sollte. Die Stimuli basierten ebenfalls auf abstrahierten Karten. Der gezeigte Bereich hatte bei weitem nicht die Größe der in unseren Transitionen sichtbaren Flächen der Erde. Dennoch wurde darauf geachtet, dass er für die Hauptzielgruppe des Experiments unbekannt war. Die Auswertung ergab eine signifikante Differenz zwischen animiertem und nicht-animiertem Zoom in Bezug auf die Abweichungen des angegebenen Punktes zum tatsächlichen Punkt. Die Autoren schlossen daraus, dass animierter Zoom eine bessere Auffassung von Orten in einer Karte ermöglicht.

Shanmugasundaram und Pourang [SI08] widmeten sich ebenfalls der Effektivität animierter Zoom-Transitionen hinsichtlich einer räumlichen Aufgabe. Dies wurde als Vor-Ort-Studie auf Basis von Metro-Karten untersucht, durch welche eigenhändig navigiert werden durfte. Die Partizipanten sollten herausfinden, wie viele überführende Kreuzungen auf einer Bahnlinie zwischen zwei gegebenen Punkten auftauchen. Hierfür durften sie an beliebigen Stellen und so oft wie nötig herein- und herauszoomen. Untersucht wurde sowohl die Art der Transition (langsam, mittel, schnell oder nicht animiert) als auch die Größe der Karte (klein mit 6-8 Linien, groß mit mehr als 12 Linien). Die Performanz war bei der großen Karte deutlich schlechter als bei der kleinen. Außerdem waren die durchschnittliche Task Completion Time sowie die Task Processing Time, bei der die Animationszeit abgezogen wurde, für plötzliche Skalierungswechsel wesentlich höher als bei allen drei animierten Übergangsarten. Auch die qualitative Analyse ergab eine Nutzer-Präferenz für animierte Zoom-Transitionen.

Zu animierten Transitionen über zweidimensionalen Informationsräumen anderer Art finden sich ebenfalls Benutzerstudien. Bederson und Boltman [BB99] führten eine Vor-Ort-Studie durch, bei der in einer Nutzeroberfläche über Verlinkungen durch einen Familienbaum navigiert werden konnte. Dabei wurde zwischen einem animierten und nicht-animierten Wechsel des Sichtpunktes verglichen. Die Transitionen bestanden jedoch nur aus Schwenken von Start- zu Zielknoten der Verlinkung und enthielten keine Änderung der Skalierung. Es gab daher nie eine Ansicht, in der mehr als zwei Knoten des Baumes sichtbar waren. Jede animierte Transition hatte eine Dauer von einer Sekunde

---

und basierte ebenfalls auf der *Slow-in und Slow-out* Technik. Es gab drei verschiedene Aufgaben. Die Teilnehmer sollten zunächst so lange über den Baum navigieren, bis sie eine Reihe von Aussagen über Beziehungen zwischen Personen des Baumes mit richtig oder falsch beurteilen konnten. Eine weitere Aufgabe bestand darin, nach dreiminütiger Navigation durch den Familienbaum, 10 Multiple-Choice-Fragen über die enthaltenen Bilder und Beziehungen zu beantworten. Die dritte Aufgabe verlangte das Nachbauen des Familienbaumes. Bei der ersten und zweiten Aufgabe ergab sich kein signifikanter Effekt durch Transitionen animierter Art. Bei der Rekonstruktionsaufgabe zeigte sich diesbezüglich allerdings eine signifikante Verbesserung der Genauigkeit. In einer qualitativen Analyse gab die Mehrheit der Partizipanten zudem an, dass Animationen ihnen helfen, die Beziehungen zwischen Daten zu erlernen. Bederson und Boltman schlussfolgerten, dass das Animieren von Übergängen zwischen zwei Punkten in einem Informationsraum die Fähigkeit des Betrachters verbessert, diesen zu rekonstruieren und somit auch die Fähigkeit, eine kognitive Karte desselben aufzubauen.

Heer und Robertson [HR07] führten ein Experiment zu animierten Transitionen in und zwischen statistischen Datengrafiken durch. Die verwendeten Stimuli basierten allerdings nicht auf dem Schwenken einer virtuellen Kamera, sondern eher auf Umwandlungen zwischen gewissen Arten von Datengrafiken (z.B. Balkendiagramm in Ringdiagramm) oder dem Sortieren von Balkendiagrammen. Weitere Transformationen beinhalteten das Entfernen und Hinzufügen gewisser Punkte in einem Scatterplot sowie die Änderung des zugehörigen Zeitpunktes der Werte eines Scatterplots. In einer Kondition wurde zusätzlich das Zoomen in einem Scatterplot betrachtet. Im Gegensatz zu den in unserer Studie verwendeten Stimuli kam es zu einer Änderung der zugrundeliegenden Daten des Informationsraumes sowie deren externer Repräsentation. Alle Transformationen wurden in animierter Form und als plötzlicher Wechsel zwischen statischem Start- und Endzustand gezeigt. Eine Aufgabe zielte ebenfalls auf die räumlichen Beziehungen zwischen den Objekten ab. Bei dieser wurden vor der Transition zwei Zielobjekte des Graphen markiert, deren finale Position nach der Transition angeklickt werden sollte. Die Auswertung ergab, dass die durchschnittliche Pixeldistanz des Mausklicks zu den jeweiligen Zielobjekten bei allen Transitionsarten in animierter Form signifikant geringer war als bei nicht-animierten Übergängen. Bei der anderen Aufgabe wurde ein Zielobjekt vorgegeben, für das die prozentuale Werteänderung in den zugrundeliegenden Daten nach der Transition abgeschätzt werden sollte. Der durchschnittliche Schätzfehler war hier bei fast allen Transitionsarten für animierte Übergänge geringer. In der qualitativen Analyse sollte für jede Transitionsart angegeben werden, wie effektiv die Änderungen übermittelt wurden. Auch hier schnitt die animierte Version in jedem Fall besser ab. Heer und Robertson schließen daraus, dass Animation die grafische Wahrnehmung der Änderung und die Objektverfolgung erleichtert.

Auch zu anderen Arten von Kartenanimationen wurden schon Studien durchgeführt. Cybulski [Cyb21] verglich animierte Routen auf verschiedenen Kartenhintergründen und von unterschiedlicher Pfadkomplexität. Die animierten Routen wurden hier nicht als Flug quer über die Karte dargestellt, sondern durch einen sich entlang von Straßen fortbewegenden Punkt. Hierbei ging es um das Einprägen und Abrufen der gezeigten Routen, deren Schwierigkeit durch die Anzahl von Richtungswechseln, der Geschwindigkeit des Punktes sowie der Pfadlänge variierte. Die Kartenhintergründe unterschieden sich bei dieser Studie jedoch nicht in der zugrundeliegenden Projektion, sondern im Grad der Abstraktion. Als Kartenmaterial für die Stimuli wurden nämlich Satelliten- und Straßenkarten von Google Maps verwendet. Bei der Studie kam zusätzlich Eye-Tracking zum Einsatz, um die visuelle Strategie beim Lernen und Abrufen der Routen zu beurteilen. Die Aufgabe

### 3. Verwandte Arbeiten

---

bestand darin, den Pfad auf dem verwendeten Hintergrund nachzuzeichnen. Die Genauigkeit nahm mit steigender Anzahl an Richtungswechseln ab. Die Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Performanz zwischen verschiedenen Kartenhintergründen.

Auch zu zeitlichen Kartenanimationen gibt es einige Studien. Hall et al. [HMA+15] befassten sich beispielsweise mit dem Einsatz von Ton zur Verbesserung der Wahrnehmung von Ereignissen einer animierten Karte. Hierbei handelte es sich ebenfalls um eine Online-Studie. Die Aufgaben zielten nicht nur auf das Verständnis der räumlichen Beziehungen zwischen den dargestellten Ereignissen ab. Geprüft wurde entsprechend der Animationsart auch das Verständnis der zeitlichen Relationen.

Darüber hinaus sind außerdem vergleichende Studien zu verschiedenen Kartenprojektionen zu finden. Diese basieren jedoch alle auf statischen Kartendarstellungen. Šavrič et al. [ŠJWS15] führten eine Nutzerstudie zu Präferenzen für Projektionen mit unterschiedlichen Kartennetzeigenschaften durch und verglichen diese zwischen gewöhnlichen Kartennutzern und Kartografen. Insgesamt wurden 9 verbreitete Projektionen untersucht, darunter auch die Mercator-Projektion. Die Studie fand online statt. Den Teilnehmern wurden jeweils 2 Karten präsentiert, die die gesamte Erde mit Kartennetz zeigten und sie sollten wählen, welche sie bevorzugen. Die Studie ergab, dass Kartenleser elliptische Meridiane und geradlinige Breitenkreise bevorzugen. Kartografen zeigten ähnliche Präferenzen und darüber hinaus eine Bevorzugung der Darstellung von Polen als Linien. Die Mercator-Projektion belegte bei Kartografen den letzten Platz und war auch bei den anderen Teilnehmern eher am Ende der Rangliste. Allerdings war die Studie vorrangig auf die Gesamtdarstellung der Erde sowie die Form des Kartennetzes ausgerichtet. Einzelne, vergrößerte Ausschnitte ohne Kartennetz wurden nicht betrachtet. Tsoulos et al. [TPS12] beschäftigten sich spezifisch mit der Darstellung kürzester Routen im Bereich der Arktis und beleuchteten die Probleme, die bei der Mercator-Projektion in diesem Bereich verstärkt auftreten. Zu diesem Zweck wird von den Autoren, unter anderem auch auf Basis der Distanz- und Richtungsverzerrung, die polare Ansicht der azimutalen äquidistanten Projektion näher betrachtet und empfohlen. Der Fokus dieser Arbeit liegt allerdings ausschließlich auf dem Bereich um den Nordpol. Studien, die Vergleiche zwischen der doppelt-äquidistanten Projektion und anderen Kartenprojektionen ziehen, wurden bislang nicht veröffentlicht.

Zusammenfassend gibt es also bislang keine Studien, die ebenfalls zum Ziel haben, die Eignung verschiedener Kartenprojektion für animierte Kartentransitionen oder Kartenanimationen im Allgemeinen zu vergleichen. Insbesondere gibt es keine Studien, bei der eine Gegenüberstellung der doppelt-äquidistanten Projektion mit anderen Projektionen stattfindet, da diese ziemlich unbekannt ist.

## 4. Studie

Die Online-Studie ist primär darauf ausgelegt, den Effekt verschiedener Projektionen auf das Verständnis der Beziehung zwischen Start- und Endpunkt animierter Kartentransitionen zu beurteilen. Der Fokus liegt dabei auf der realen, auf dem Erdball gemessenen, Distanz und Richtung der Orte zueinander. Im Folgenden werden die hierzu verwendeten Aufgaben und das Design der Studie genauer erläutert.

### 4.1. Aufgaben

Um die Projektionen in Anbetracht ihrer hauptsächlichlichen Stärken und Schwächen, in denen sie sich unterscheiden, zu vergleichen, wurden bewusst Aufgaben gewählt, welche auf diese abzielen. Hiermit sind vor allem die Verzerrung bzw. die Treue von Abstand und Richtung gemeint. Auch die Rolle der Formtreue sollte hierbei nicht unterschlagen werden, da sie womöglich die Wiedererkennung auftauchender Länder und Strukturen erleichtert. Da die Studie zum Ziel hat, zu evaluieren, wie gut die Transitionen den geographischen Zusammenhang zwischen Start- und Zielort übermitteln, sind die Aufgaben nicht auf der Karte aus der jeweiligen Transition zu lösen, sondern auf einer dreidimensionalen Darstellung des Globus. Diese wurde mit Hilfe der JavaScript-Bibliothek *react-globe.gl* [Ast] und Länderpolygonen des lizenzfreien Kartendatensatzes *NaturalEarth* [KP] implementiert. Die Länder sind zur besseren Unterscheidung pastellfarben eingefärbt. Um einen Bias zu vermeiden, werden die Farben der Länder jedes Mal mit dem Erscheinen des Globus von Neuem zufällig festgelegt. Während des Lösen der Aufgabe ist das Zoomen in beliebige Ausschnitte und das Drehen des Globus möglich. Initial ist immer der Startpunkt der Transition im Zentrum. Des Weiteren haben die Farben an sich keine Bedeutung und es ist nicht erwünscht, dass die Teilnehmer sich über diese orientieren. Daher stimmt die Färbung der Länder, sofern dieser Fall nicht zufällig eintritt, nicht mit der Färbung der Karte aus der zugehörigen Transition überein. Auch auf die Darstellung einiger Details und Orientierungspunkte, die in den Karten sichtbar sind, wird auf dem Globus verzichtet. Hiermit sind Punkte für bestimmte Orte, Straßen, Seen, Flüsse und einige Grenzen von Unterregionen gemeint. So sollen die Probanden dazu angeregt werden, sich, statt lediglich über die Orientierungspunkte, über die Relation von Start- zu Endpunkt zu orientieren. Zur Beurteilung der Performanz werden jeweils der *Fehler* sowie die *gesamte Bearbeitungszeit* und die *aktive Zeit* gemessen. Der Fehler wird bei jedem Aufgabentyp individuell bestimmt. Die gesamte Bearbeitungszeit ist die Zeit, gemessen vom Beginn der Aufgabe, d.h. ab dem Erscheinen des Globus, bis zum endgültigen Beenden der Aufgabe, durch das Drücken des *Commit*-Buttons. Die aktive Bearbeitungszeit beinhaltet lediglich die Zeit zwischen der ersten Mausbewegung nach Beginn der Aufgabe und der letzten vollbrachten Änderung.

### 4.1.1. Distanzaufgabe

Bei dieser Aufgabe soll die Großkreisdistanz, die zwischen Start- und Endpunkt der Transition liegt, auf dem dreidimensionalen Globus angegeben werden (siehe Abbildung 4.1a). Mit Hilfe des Sliders kann der Abstand eines auf der Erdoberfläche anliegenden Rings zum Startpunkt vergrößert werden. Der Ring ist um die Achse zwischen dem Startpunkt und dessen gegenüberliegendem Punkt zentriert. Er soll so eingestellt werden, dass die Länge des verbindenden Großkreisbogens vom Startpunkt aus zu einem Punkt auf dem Ring, der Länge der Geodäte zwischen Start- und Endpunkt entspricht. Ist dies der Fall, dann liegt der Endpunkt unter dem Ring. Der Fehler wird bei dieser Aufgabe durch die Abweichung der durch den Teilnehmer gewählten Distanz von der tatsächlichen Großkreisdistanz zwischen Start- und Endpunkt berechnet. Er wird in Kilometern angegeben.

### 4.1.2. Richtungsaufgabe

Bei dieser Aufgabe sollen die Teilnehmer die Richtung angeben, in welcher der Endpunkt vom Startpunkt aus gesehen liegt (siehe Abbildung 4.1c). Hierzu muss der vom Startpunkt wegzeigende Großkreisbogen mit Hilfe des Sliders so rotiert werden, dass dieser in Richtung des Endpunktes zeigt. Es soll also der richtige Azimut beim Startpunkt bezüglich des kürzesten Pfades zum Endpunkt gewählt werden. Wurde die Richtung richtig gewählt, dann ist die Geodäte zwischen den zwei Punkten also Teil des roten Kreisbogens. Der Fehler ist der kleinste Winkel zwischen tatsächlichem und gewähltem Azimut und wird in Grad angegeben.

### 4.1.3. Endpunktaufgabe

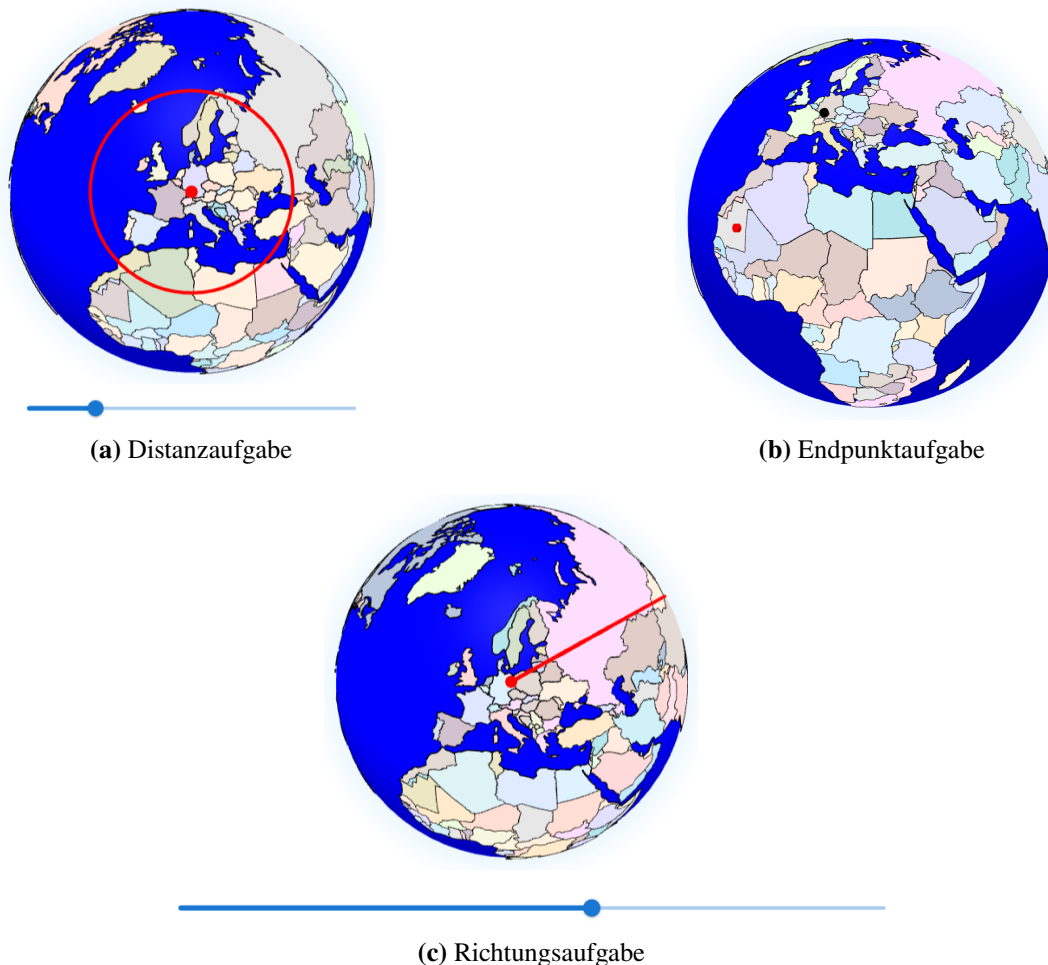
Bei dieser Aufgabe soll der Endpunkt der Transition auf dem Globus angeklickt werden (siehe Abbildung 4.1b). Dadurch soll das Verständnis der Kombination aus Distanz und Richtung untersucht werden. Der Fehler ist bei dieser Aufgabe die Großkreisentfernung zwischen tatsächlichem und gewähltem Endpunkt.

## 4.2. Studiendesign

### 4.2.1. Bedingungen

Alle drei Aufgaben sind jeweils für dieselben Bedingungen zu lösen, die sich aus den folgenden Faktoren ergeben:

- **Projektion (P):** Mercator-Projektion, azimutale äquidistante Projektion, doppelt-äquidistante Projektion
- **Distanz (D):** 0, 1, 2, 3



**Abbildung 4.1.: Aufgaben**

Über verschiedene Distanzen, die zwischen Start- und Zielpunkt der Transitionen liegen, soll der Schwierigkeitsgrad variiert werden. Die vier Ausprägungen der unabhängigen Variable D beziehen sich auf jeweils ein Distanzintervall, aus dem zufällig eine Distanz gewählt wird. Die Wahl von vier festen Distanzen ist für die Distanz- und Endpunktaufgabe nicht sinnvoll. Das Intervall 0 reicht von 500 bis 3000 Kilometer, das Intervall 1 von 3001 bis 6000 Kilometer, das Intervall 2 von 6001 bis 9000 Kilometer und das Intervall 3 von 9001 bis 12 000 Kilometer. Erwartet wurde ein mit der Distanz steigender Schwierigkeitsgrad.

Es ergeben sich durch einen vollständigen Versuchsplan  $|P \times D| = 12$  verschiedene Bedingungen für jede Aufgabe. Um möglichst robuste Ergebnisse zu erhalten, wurden für jede Bedingung außerdem 5 Wiederholungen eingeplant. Aufgrund der hohen Anzahl an Versuchen, die jeder Proband bei einem reinen Within-Subjects-Design durchlaufen müsste, fiel die Wahl auf ein *Mixed-Design*, bei dem der Faktor Projektion als *Between-Subjects-Variable* und die Distanz als *Within-Subjects-Variable* gehandhabt wird. Aus den 3 Aufgaben, die jeweils für 4 Distanzen 5 Mal wiederholt werden müssen, ergeben sich daher 60 Versuche pro Teilnehmer. Unter Berücksichtigung der drei Beispielaufgaben sind es mindestens 63 Versuche, da alle drei Beispielaufgaben im Zweifel mehrmals wiederholt werden müssen. Zu den abhängigen Variablen zählen der in Abschnitt 4.1 beschriebene absolute

## 4. Studie

---

Fehler, die aktive Zeit und die gesamte Zeit. Die Zuweisung der Teilnehmer zu den drei Projektionen erfolgt zufällig und sie werden nicht über diese in Kenntnis gesetzt. Es sollen jeweils alle Versuche zu einer Aufgabe am Stück durchgeführt werden. Um Lern- und Ermüdungseffekte zwischen den Aufgabenarten auszugleichen, wird die Reihenfolge dieser pro Teilnehmer randomisiert. Darüber hinaus werden alle Stimuli für alle Distanzen und Wiederholungen zu einer Aufgabe in zufälliger Reihenfolge gezeigt und bearbeitet. Außerdem ist die Generierung so vieler unterschiedlicher Stimuli mit jeweils zufällig neu gewähltem Start- und Endpunkt vorgesehen, dass jeder Teilnehmer für die richtigen Versuche einen anderen Datensatz mit Animationen, die jeweils zufällig ausgesucht werden, erhält. Die Animationen für die Beispieldurchläufe werden jeweils zufällig aus einem festen Pool, bestehend aus 6 Stimuli, gewählt. Diese wiederholen sich also unter den Teilnehmern.

### 4.2.2. Apparat

Die Studie soll, wie in den Anweisungen zu Beginn erwähnt wird, auf einem Gerät mit Maus und Tastatur durchgeführt werden. Andere Gerätearten, die beispielsweise nur über eine Touch-Benutzerschnittstelle verfügen, könnten die Bedienbarkeit erschweren und sich somit negativ auf die Performanz auswirken. Um eine korrekte und vollständige Darstellung zu garantieren, weisen wir außerdem darauf hin, ein Gerät mit mindestens 15,6 Zoll Bildschirmdiagonale zu verwenden. Da es sich um eine Online-Studie handelt und jeder Teilnehmer sein eigenes Gerät verwenden muss, ist es nicht oder wenn nur sehr schwer umsetzbar, weitere Eigenschaften, wie z.B. die Auflösung, zu vereinheitlichen. Deshalb ist die Durchführung einer Skalierungsaufgabe vorgesehen. Hierbei soll ein Rechteck auf die Größe einer an den Bildschirm gehaltenen Kreditkarte gezogen werden. Dies ermöglicht es, den nötigen Skalierungsfaktor zu ermitteln, um die Animationen über Geräte verschiedenster Auflösung hinweg auf einer Größe von knapp 14 cm x 14 cm zu zeigen. Auch die absolute Größe des Fensters für die Darstellung des Globus und die Länge der Slider ist dadurch bei allen Geräten identisch. Von der Kontrolle weiterer Faktoren, wie der Helligkeit oder anderen Eigenschaften des Monitors, wurde abgesehen. Die Funktion der rechten Maustaste wurde auf der gesamten Seite deaktiviert, sodass die Möglichkeit des Öffnens der Konsole und des mehrmaligen Abspielens oder Herunterladens der Animationen weniger zugänglich ist.

### 4.2.3. Stimuli

Jeder Stimulus zeigt eine animierte Kartentransition von einem zufällig gewählten Startpunkt zu einem zufällig gewählten Endpunkt auf der Erde.

#### 4.2.3.1. Wahl des Punktpaars

Bei einer einfachen, zufälligen Wahl von Länge und Breite ergibt sich ein natürlicher Bias zu den Polen hin, da der Abstand zwischen den Längengraden hier enger wird. Um dem entgegenzuwirken und eine möglichst gleichverteilte Wahl der Startpunkte über die Erdoberfläche zu garantieren, wird der Startpunkt jeweils mit einer Methode gewählt, die drei unabhängige, standardnormalverteilte Zufallsvariablen nutzt und in Algorithmus 4.1 vereinfacht dargestellt ist.



---

**Algorithmus 4.1** Generierung eines zufälligen Punktes (Länge  $\lambda$  und Breite  $\phi$  in Grad) auf der Erde

---

```

procedure GENERATERANDOMPOINT
   $x \leftarrow$  wähle zufälligen Wert über standardnormalverteilte ZV
   $y \leftarrow$  wähle zufälligen Wert über standardnormalverteilte ZV
   $z \leftarrow$  wähle zufälligen Wert über standardnormalverteilte ZV
   $\theta, \phi \leftarrow$  wandle Vektor  $(x, y, z)$  in sphärische Koordinaten um
   $\lambda \leftarrow \theta/\pi * 180$ 
   $\phi \leftarrow (\phi - \pi/2)/(\pi/2) * 90$ 
end procedure

```

---

Von diesem zufällig gewählten Startpunkt aus wird jeweils zufällig ein Endpunkt in benötigter Distanz gewählt. Da hier die Peilung vom Startpunkt aus als zufälliger Parameter verwendet wird, ist die Gleichverteilung möglicher Endpunkte auf dem Teil des Umkreises in entsprechenden Entfernung, der sich nicht im Ozean befindet, schon gegeben.

Für jeden Stimulus werden auf diese Weise so lange Punktpaare generiert und verworfen, bis eines entsteht, das alle festgelegten Kriterien erfüllt. Es darf keiner der beiden Punkte im Meer liegen. Des Weiteren wird geprüft, ob auf der Karte genug Land zwischen den Punkten liegt. Hierzu darf die längste Teilstrecke auf der Verbindungslinie zwischen Start- und Endpunkt, die sich im Ozean befindet, nicht mehr als 40 % der Gesamtstrecke einnehmen. Dies garantiert, dass ausreichend viele Orientierungsstrukturen während des Übergangs sichtbar sind. Wir wollen in der Studie außerdem nur Transitionen auf der gewöhnlichen, äquatorialen Ansicht der Mercator-Projektion testen. Aus diesem Grund werden auch Punktpaare verworfen, bei denen die Transitionslinie die obere oder untere Kartengrenze in dieser Ansicht überschneidet. Um sicher zu gehen, dass der obere und untere Kartenrand nicht in den Frames auftaucht, werden nur Start- und Endpunkte akzeptiert, die einen Mindestabstand von 5 % der Gesamtkartenhöhe zum oberen und unteren Rand haben.

#### 4.2.3.2. Gestaltung der Karte

Die Kartenausschnitte werden mit Hilfe der JavaScript-Bibliothek *d3.js* [Bos12] (Data-Driven-Documents) und der erweiternden *d3-geo*-Bibliothek aus Vektordaten von *NaturalEarth* [KP] als SVG generiert. Die Länder werden für jeden Stimulus zufällig neu in Pastellfarben eingefärbt. Da ein Netzwerk von Orientierungspunkten essentiell für den Aufbau einer kognitiven Karte ist [TS18], werden Straßen, Flüsse, Seen und dicht besiedelte Orte eingeblendet. Die Anzahl eingeblendeter Orte und Straßen ändert sich dynamisch in Abhängigkeit der Skalierung. Bei sehr schwachem Zoom werden nur Weltstädte und keine Straßen gezeigt. Ab einem gewissen Schwellwert der Skalierung kommen Hauptstädte und größere Autobahnen hinzu. Sobald der maximale Schwellwert überschritten wird, sind alle dicht besiedelten Orte und Straßen sichtbar. Um zu verhindern, dass bei starkem Zoom keine Orientierungspunkte im Sichtfenster vorhanden sind, wurden vorab, mit Hilfe des Algorithmus 4.1, 7000 zufällige Punkte generiert, die relativ gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt sind. Außerdem zeigt ein imaginärer Vektor vom Kartenmittelpunkt zum Nordpol immer vertikal nach oben, da es für den Betrachter einfacher ist, Kartenformen in bekannter Orientierung wiederzuerkennen [LU17]. Dies ist bei der Mercator-Projektion sowie bei der azimutalen äquidistanten Projektion bereits gegeben. Die Frames der doppelt-äquidistanten Projektion werden entsprechend rotiert. Außerdem wird die Erde vor der Mercator-Projektion so

## 4. Studie

---

gedreht, dass der Zentralpunkt der Projektion zwar auf dem Äquator, aber bei mittlerer Länge zwischen Start- und Endpunkt liegt. Bei der azimutalen äquidistanten Projektion wird die Erde so rotiert, dass der Zentralpunkt dem Startpunkt der Transition entspricht und somit alle Richtungen und Distanzen von diesem aus korrekt sind. Für die doppelt-äquidistante Projektion werden der Start- und Endpunkt der Transition als Fokuspunkte gewählt, sodass Distanzen von beiden Punkten aus korrekt sind. Die Transitionslinie entspricht damit bei der azimutalen äquidistanten und der doppelt-äquidistanten Projektion der Geodäte.

### 4.2.3.3. Umsetzung der animierten Transition

Zwar ist die optimale Dauer einer animierten Transition abhängig von der Komplexität der Szene und der Vertrautheit des Nutzers mit dem Inhalt [HR07]. Für kartografische Animationen im Allgemeinen hat sich in der Vergangenheit allerdings eine Dauer zwischen 8 und 11 Sekunden als effektiv erwiesen [Cyb21]. Deshalb wurde für jede Animation, egal welche Distanz überflogen wird, eine Dauer von etwa 10 Sekunden gewählt. Zudem ist mit einer Bildrate von 60 fps die Wahrnehmung einer flüssigen Animation garantiert. Mit Hilfe der von Van Wijk und Nuij [VN04] erarbeiteten Gleichungen für einen optimalen Kamerapfad (siehe Abschnitt 2.2.3) werden für jedes Frame die zugehörige Skalierung sowie die Koordinaten des Punktes auf der Karte, welcher in den Mittelpunkt translatiert werden muss, berechnet. Somit wird zu Beginn der Animation überwiegend herausgezoomt, in der Mitte erfolgt hauptsächlich eine Verschiebung des Bildinhaltes und zum Ende hin wird überwiegend hereingezoomt. In der Mitte erreicht die virtuelle Kamera den höchsten Punkt, sodass Start- und Endpunkt der Transition beide sichtbar sind. Das *Slow-in und Slow-out* Prinzip findet sich in den generierten Übergängen ebenfalls wieder. Die entstehenden Vektorgrafiken werden jeweils als PNG-Datei heruntergeladen und hinterher mit Hilfe des Programms *FFmpeg* [Bel] zu MP4-Videodateien zusammengesetzt. Abbildung 4.2, Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4 zeigen Beispielframes aus möglichen Animationen zu den drei Projektionen.

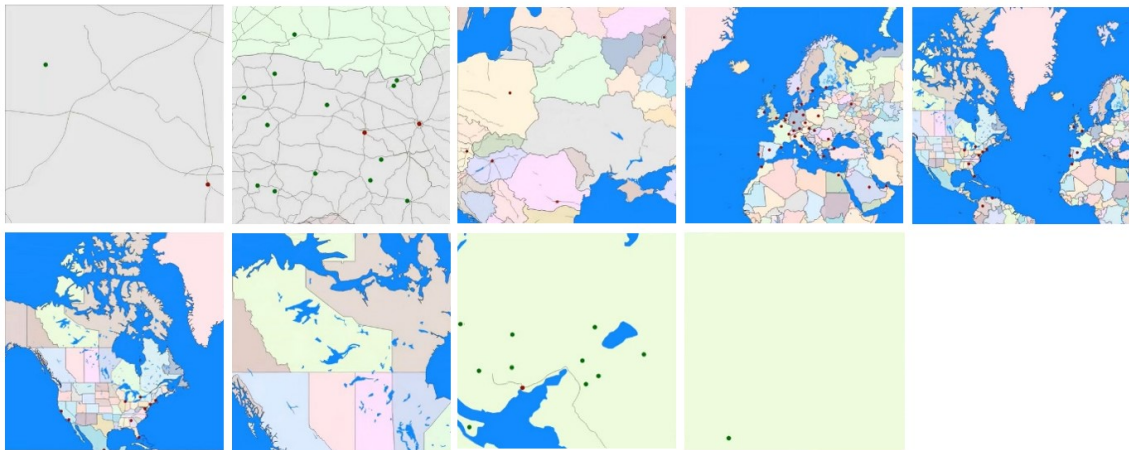
### 4.2.4. Teilnehmer

Die Teilnehmer werden über die Plattform *Prolific* [Bra] rekrutiert. Die Population, über die wir mit dieser Studie Schlüsse ziehen wollen, setzt sich aus allen potentiellen Nutzern von Online-Karten zusammen. Daher ist das Einstellen gewisser Teilnahmekriterien nicht vorgesehen, wodurch jeder *Prolific*-Nutzer an der Studie teilnehmen kann.

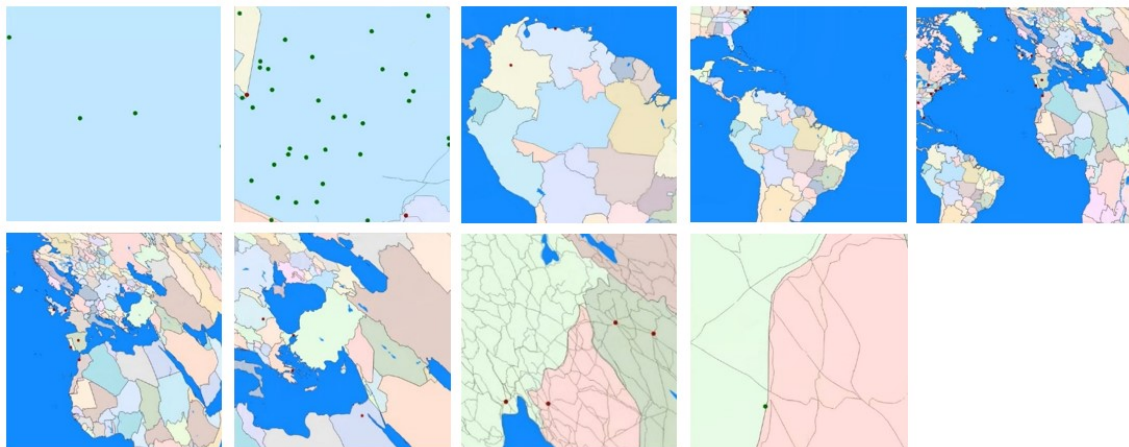
### 4.2.5. Ablauf

In Anhang A.1.1 sind Bildschirmaufnahmen zu finden, auf die ergänzend zur textuellen Beschreibung des Studienablaufes verwiesen wird.

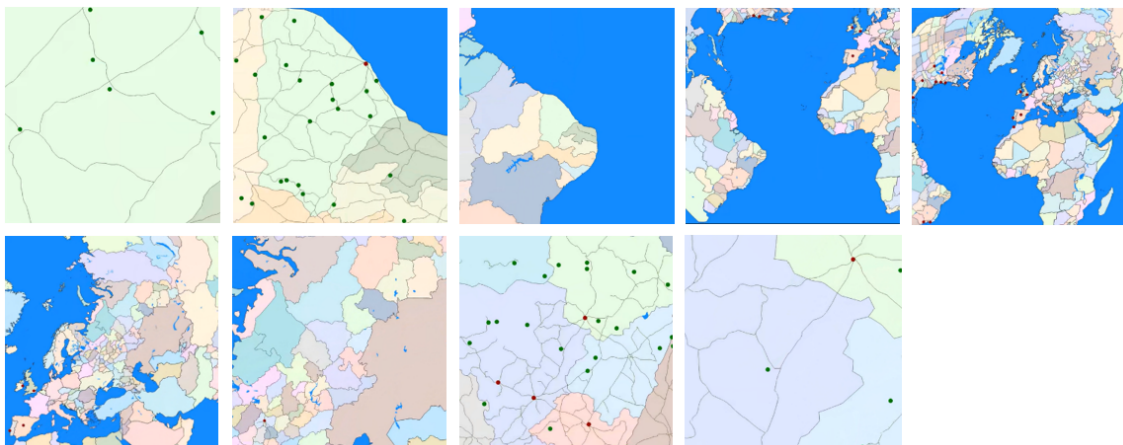
Auf der Startseite (siehe Abbildung A.1) werden die Partizipanten gebeten, sich ein paar generelle Information zum Ablauf und Hintergrund der Studie, sowie einige wichtige Anweisungen aufmerksam durchzulesen. Es wird beispielsweise darauf hingewiesen, ein Gerät mit Maus und ausreichender Größe zu nutzen. Außerdem sollen die Teilnehmer die Aufgaben in ruhiger Umgebung durchführen, keine weiteren Hilfsmittel verwenden, nicht in die Animationen zoomen und sich möglichst aufrecht und in normaler Distanz zum Bildschirm positionieren.



**Abbildung 4.2.:** Beispielframes, die von links oben nach rechts unten den Ablauf einer animierten Transition zeigen. Verwendet wurde hier die Mercator-Projektion. Die Distanz beträgt 6971 Kilometer. Grüne Punkte wurden zufällig generiert, rote Punkte repräsentieren dicht besiedelte Orte, dunkle Linienverläufe stellen Straßen dar. Das 5. Frame wird etwa zur Hälfte der Zeit gezeigt, es sind Start- und Endpunkt sichtbar.



**Abbildung 4.3.:** Beispielframes, die von links oben nach rechts unten den Ablauf einer animierten Transition zeigen. Verwendet wurde hier die azimutale äquidistante Projektion. Die Distanz beträgt 11 855 Kilometer. Zum Endpunkt hin ist eine deutliche Formverzerrung der Länder zu erkennen.



**Abbildung 4.4.:** Beispielframes, die von links oben nach rechts unten den Ablauf einer animierten Transition zeigen. Verwendet wurde hier die doppelt-äquidistante Projektion. Die Distanz beträgt 11 274 Kilometer. In der Nähe des Start- und Endpunktes sowie entlang und im nahen Umfeld der geraden Verbindungslinie zwischen diesen ist keine erhebliche Formverzerrung zu erkennen. Abseits hiervon nimmt sie allerdings zu. Zudem ist die Streckung der Karte entlang der Verbindungslinie zwischen Start- und Endpunkt aufgrund der großen Entfernung zwischen diesen sichtbar.

Daraufhin folgt die Skalierungsaufgabe (siehe Kapitel 4.2.2 und Abbildung A.2).

Anschließend ist ein Fragebogen zur Erfassung einiger demographischer Daten, wie Alter, Geschlecht und Bildungsgrad, auszufüllen (siehe Abbildung A.3). Zur Beurteilung der Vorerfahrung wird gefragt, wie oft der Teilnehmer Online-Karten nutzt. Um die räumlichen Fähigkeiten und den Orientierungssinn einschätzen zu können, wird eine Likert-Skala mit der Aussage „*Ich kann mich räumlich gut orientieren und habe im Allgemeinen gute räumliche Fähigkeiten*“ und den dazugehörigen 5 Antwortmöglichkeiten, die von „*trifft überhaupt nicht zu*“ bis „*trifft voll zu*“ reichen, verwendet.

Nach Bestätigung der Antworten wird dem Probanden eine Beschreibung der ersten von ihm zu lösenden Aufgabe präsentiert (siehe Abbildung A.6, Abbildung A.8, Abbildung A.10). Vor dem Beginn der richtigen Versuche muss erst eine Beispielaufgabe gelöst werden. Diese bezieht sich auf eine Beispieltransition mit einer Distanz von 6000 Kilometern. Die Teilnehmer haben vor der Beispielaufgabe die Möglichkeit, die Animation zweimal anzuschauen (siehe Abbildung A.4, Abbildung A.5). Vor dem Start und nach dem Beenden einer Animation ist nur eine weiße Fläche mit einer Anweisung, was als Nächstes zu tun ist, zu sehen. Nach dem Start sieht man 2 Sekunden lang ein Standbild des ersten Frames der Animation, bevor die Transition beginnt. Nachdem die Animation abgespielt wurde, bleibt das letzte Frame noch für 2 Sekunden sichtbar, bevor es wieder verdeckt wird. Sobald die Beispielaufgabe ausreichend gut gelöst wurde, kann mit den richtigen Versuchen zur jeweiligen Aufgabe (siehe Abbildung A.7, Abbildung A.9, Abbildung A.11) fortgefahren werden. Bei der Distanz- und Endpunktaufgabe darf der gemessene Fehler hierzu jeweils maximal 1000 Kilometer und bei der Richtungsaufgabe maximal 30 Grad betragen. Wenn der Fehler größer ist, muss die Animation noch einmal angeschaut und daraufhin die Aufgabe erneut bearbeitet werden. Dies muss so lange wiederholt werden, bis die Aufgabe ausreichend gut gelöst

wird. Im Anschluss durchlaufen die Partizipanten die richtigen Versuche für alle Stimuli, die ihnen für diese Aufgabe zugeordnet wurden. Dabei kann jede Animation nur einmal angeschaut werden. Dasselbe Prozedere wiederholt sich dann für die zweite und zum Schluss für die dritte Aufgabe.

Danach folgt eine persönliche Einschätzung der Schwierigkeit bzw. der mentalen Belastung jeder Aufgabe (siehe Abbildung A.12). Hierzu gibt es je 5 Antwortmöglichkeiten von „*sehr niedrig*“ bis „*sehr hoch*“. Außerdem haben die Teilnehmer noch die Möglichkeit, Anmerkungen zu hinterlassen (siehe Abbildung A.13).

Zum Abschluss wird eine Bedankung und bei der tatsächlichen Studie zusätzlich der Prolific-Completion-Code eingeblendet (siehe Abbildung A.14).

### 4.3. Implementierung der Webanwendung

Das Frontend wurde mit Hilfe von *React.js* [Wal] implementiert. Für die Bereitstellung des entstandenen Build-Ergebnisses kam ein *flask*-Backend [Fra] mit einer REST-API zum Einsatz.

Die API verfügt über zwei weitere Endpunkte. Einer von diesen wird aufgerufen, sobald die Studie durch das Drücken des *Start*-Buttons begonnen wird. Daraufhin wird eine neue Session für den Teilnehmer erstellt und er bekommt ein sogenanntes *Paket* zugewiesen. Hierbei handelt es sich um eine JSON-Datei, die die nötigen Daten für einen Probanden der Studie enthält und nur einmalig vergeben werden kann. In diesem Fall sind das die zugehörige Projektion, die Reihenfolge der Aufgaben, sowie für jede Aufgabe die IDs und Startpunkte der Animationen, die zufällig für dieses Paket und die Aufgabe ausgesucht wurden. Die Zusammenstellung der JSON-Pakete ist durch ein Python-Skript automatisiert und muss im Voraus erfolgen.

Der Aufruf des anderen Endpunktes geschieht erst zum Schluss, beim Drücken auf „Beenden“. Dieser sorgt für das Entgegennehmen aller Ergebnisse und Daten des Teilnehmers, die über die Studie hinweg, ebenfalls im JSON-Format, aggregiert werden. Außerdem erfolgt die Abspeicherung der JSON-Datei, benannt nach der Session-ID bzw. der ID des zugehörigen Pakets, im Dateisystem.

### 4.4. Vorstudie

Um mögliche Probleme im Studiendesign, der Durchführbarkeit sowie der Auswertung zu identifizieren und die benötigte Gesamtdauer für die richtige Studie abschätzen zu können, führten wir eine Vorstudie durch. Diese folgte dem bisher vorgestellten Design weitestgehend. Es wurden aber nur 8 Teilnehmerpakete pro Projektion erstellt, sodass insgesamt bis zu 24 Personen teilnehmen konnten. Des Weiteren wurde die Anzahl der durchzuführenden Wiederholungen pro Bedingung von 5 auf 3 reduziert und es gab es nur 4 Beispielstimuli. Insgesamt generierten wir für die Vorstudie daher 876 Animationen.

### 4.4.1. Feedback

Aus dem Feedback der Vorstudie polarisierte vor allem, dass die bei den Aufgaben angewandte Strategie in den meisten Fällen darin bestand, sich den Endpunkt der Transition zu merken und diesen anschließend auf dem Globus zu suchen. Lediglich bei Transitionen über kürzere Distanzen, bei denen kaum Länderumrisse oder Küstenlinien sichtbar waren, erfolgte die Abschätzung des Endpunktes über die topologische Beziehung zum Startpunkt. Dies stellt nicht nur insofern ein Problem dar, als dass mit den bisher entworfenen Aufgaben kaum die Aspekte der Richtung und Distanz untersucht werden können, sondern auch dass die geographischen Vorkenntnisse eine noch größere Rolle spielen, als bisher angenommen. So merkten einige Partizipanten an, dass sie beim Lösen der Aufgaben auf geographische Kenntnisse vertrauten und es ihnen sehr leicht fiel, die Aufgaben zu lösen, wenn der Endpunkt in einer ihnen bekannten Umgebung bzw. in der Nähe bekannter Länderumrisse lag.

Weiterhin waren einige Partizipanten über die sich unterscheidende Farbgebung zwischen den Ländern in der Animation und dem daraufhin erscheinenden Globus verwundert. Auch die auf dem Globus fehlenden Details, wie beispielsweise Straßen und Seen, sorgten für Verwirrung. Während der Richtungsaufgabe trat laut Angabe mancher Teilnehmer eine Verzögerung zwischen der Bewegung des Sliders und des Kreisbogens auf dem Globus auf. Außerdem wurde in einem Kommentar kritisiert, dass die Slider keine besonders feinen Änderungen zulassen.

Ein Teilnehmer merkte an, dass er die Beispieldurchläufe im Verhältnis zu den darauffolgenden Versuchen zu leicht fand. Generell gaben einige Teilnehmer an, den Schwierigkeitsgrad für kürzere Distanzen als höher wahrgenommen zu haben. Des Weiteren berichtete ein Teilnehmer, aufgrund der Ähnlichkeit der verschiedenen Aufgaben, einen spürbaren Lerneffekt über diese hinweg wahrgenommen zu haben. Er gab an, die erste Aufgabe aus diesem Grund als am schwersten empfunden zu haben. Ein weiterer Partizipant bemängelte, dass die Geschwindigkeit der Transitionen bei großer Distanz und kleinem Skalierungsfaktor zu schnell sei, um diese akkurat verfolgen zu können.

Weiteres Feedback betraf kleinere Formalien, wie Rechtschreib- und Grammatikfehler, eine zu große Menge an Text in den Beschreibungen der Aufgaben oder das Fehlen einer Fortschrittsanzeige.

Es gab darüber hinaus auch positive Rückmeldungen. Die Studie an sich wurde insgesamt als interessant, eindrucksvoll und anschaulich bewertet. Auch die Länge sei laut einem Teilnehmer optimal gewesen, sodass für diesen keine Abnahme an Motivation spürbar war. Außerdem wurden die Erklärungen der Aufgaben und die Testläufe als hilfreich empfunden.

### 4.4.2. Ergebnisse

An der Vorstudie nahmen insgesamt 19 Personen teil. Davon wurden 8 Teilnehmer der Mercator-Projektion, 7 der azimutalen äquidistanten Projektion und nur 4 der doppelt-äquidistanten Projektion zugewiesen. Die relative Verteilung von Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, Erfahrung in der Nutzung von Online-Karten sowie räumlicher Fähigkeiten dieser Gruppen ist in Anhang A.1.2 hinterlegt. Auffallend ist besonders die Verteilung der Gruppe mit der doppelt-äquidistanten Projektion. Diese ist, vor allem was das Geschlecht (siehe Abbildung A.15) und die räumlichen Fähigkeiten

(siehe Abbildung A.19) betrifft, unausgeglichen. Die Gruppe bestand nur aus Frauen, die ihren Orientierungssinn alle als gut einschätzten. Dies lässt sich durch die zu kleine Anzahl an Probanden in der Gruppe erklären.

Für die gemessenen Werte des Fehlers, der Gesamtzeit und der aktiven Zeit wurde zunächst das arithmetische Mittel für jeden Teilnehmer pro Distanz und Aufgabe berechnet. Ergebnisse zu Versuchen, bei denen die Gesamtzeit über 50 Sekunden lag, wurden jedoch als Ausreißer deklariert und zuvor eliminiert. Aus den Mittelwerten konstruierten wir die 95%-Konfidenzintervalle für jede Bedingung innerhalb aller Aufgaben. Um die Projektionen bezüglich der drei Messungen paarweise zu vergleichen, berechneten wir 95%-Konfidenzintervalle für die Differenz zwischen den Mittelwerten pro Distanz, welche mittels der Bonferroni-Korrektur für 9 Vergleiche angepasst wurden. Alle Konfidenzintervalle wurden über BCa-Bootstrapping mit 10000 Iterationen berechnet. Die Interpretation folgt den in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen Richtlinien.

Im Folgenden werden hierbei beobachtete Auffälligkeiten umrisshaft beschrieben und diskutiert. Alle bei der Auswertung der Vorstudie entstandenen Konfidenzintervalle sind in Anhang A.1.3 zu finden.

##### **4.4.2.1. Distanzaufgabe**

Bei der Distanzaufgabe fällt auf, dass der durchschnittliche Fehler bei der azimutalen äquidistanten und der doppelt-äquidistanten Projektion für die Distanzen 0 und 1 verhältnismäßig gering ausfiel (siehe Abbildung A.22). Zu den Distanzstufen 2 und 3 ist ein deutlicher Anstieg zu beobachten. Bei der Mercator-Projektion sinkt er dagegen über die Erhöhung der Distanzen leicht ab. Vor allem für die azimutale äquidistante Projektion zeigen die Konfidenzintervalle einen deutlichen Trend und für Distanz 1 sogar sehr schwache Evidenz, für einen geringeren Fehler als bei der Mercator-Projektion. Auf Distanzstufe 3 dagegen ist ein Trend für einen kleineren Fehler bei der Mercator-Projektion sichtbar. Ähnlich verhält es sich mit der Zeit. Auch hier war der Mittelwert für die Mercator-Projektion auf Distanz 3 und 4 am geringsten (siehe Abbildung A.20, Abbildung A.20). Beim Vergleich zwischen der azimutalen äquidistanten Projektion und der doppelt-äquidistanten Projektion zeigt sich in allen Fällen ein leichter Trend für einen kleineren Fehler bei der azimutalen äquidistanten Projektion.

##### **4.4.2.2. Richtungsaufgabe**

Anders als bei der Distanzaufgabe war der durchschnittliche Fehler bei der Gruppe mit der Mercator-Projektion nicht automatisch für größere Distanzen geringer (siehe Abbildung A.25). Für die doppelt-äquidistante Projektion fiel dieser bei allen Distanzen geringer aus als bei der Mercator-Projektion. Bei der azimutalen äquidistanten Projektion ist dies bei Distanz 1 und 3 der Fall. Außerdem zeigt sich für die Distanzstufen 0 bis 2 eine Tendenz für einen geringeren Fehler bei der doppelt-äquidistanten Projektion gegenüber der azimutalen äquidistanten Projektion. Die Mittelwerte für die Zeiten sind dagegen bei der Mercator-Projektion in nahezu allen Fällen am geringsten (siehe Abbildung A.23, Abbildung A.24). Auf Distanzstufe 1 bis 3 ist der Mittelwert der Zeit für die azimutalen äquidistanten Projektion geringer als bei der doppelt-äquidistanten Projektion.

## 4. Studie

---

Eine auffallend hohe Zeit ergab sich für die doppelt-äquidistante Projektion auf Distanzstufe 2, wodurch sich Evidenz dafür zeigt, dass die Aufgabe in diesem Fall mit der azimutalen äquidistanten Projektion schneller gelöst werden kann.

### 4.4.2.3. Endpunktaufgabe

Bei der Schätzung des Endpunktes unterschieden sich die Mittelwerte des Fehlers nur geringfügig zwischen den Projektionen (siehe Abbildung A.28). Bei der größten Distanz allerdings fiel dieser für die azimutale äquidistante Projektion vergleichsweise hoch aus. Demnach zeigt sich Evidenz dafür, dass der Fehler beim Schätzen des Endpunktes in diesem Fall für die doppelt-äquidistante Projektion kleiner als ist als für die azimutale äquidistante Projektion. Im Vergleich zwischen der Mercator-Projektion und der azimutalen äquidistanten Projektion zeigt sich hier auch ein Trend zugunsten der Mercator-Projektion. Was die Zeiten angeht, gab es auch zwischen den Mittelwerten für die Mercator-Projektion und die azimutale äquidistante Projektion nur geringe Unterschiede. Es ist in allen Fällen ein deutlicher Trend zu erkennen, dass die Zeiten für die azimutale äquidistante Projektion und die Mercator-Projektion geringer sind als für die doppelt-äquidistante Projektion.

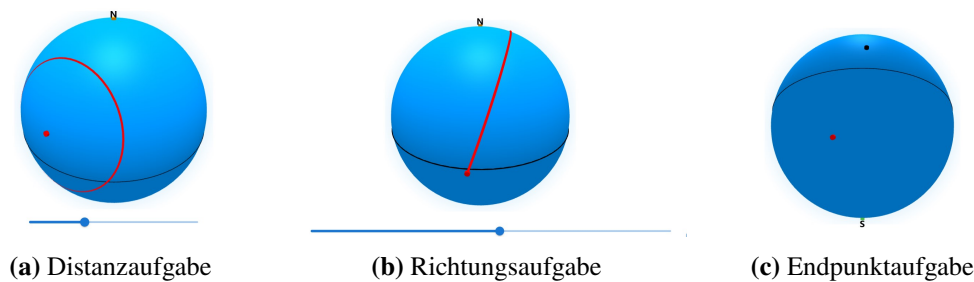
### 4.4.2.4. Wahrgenommene Schwierigkeit

Für die Auswertung der wahrgenommenen Schwierigkeit wurden Boxplots erstellt (siehe Anhang A.1.4). Bei der Distanzaufgabe ist der Median der wahrgenommenen Schwierigkeit für die Mercator-Projektion am kleinsten und für die doppelt-äquidistante Projektion am größten (siehe Abbildung A.29). Bei der Richtungsangabe war dieser für die doppelt-äquidistante Projektion am geringsten und für die azimutale äquidistante Projektion am größten (siehe Abbildung A.30). Die Endpunktaufgabe wurde, wie die Distanzaufgabe, von der Gruppe mit der Mercator-Projektion im Median als am einfachsten empfunden (siehe Abbildung A.31). Am schlechtesten schnitt hier die azimutale äquidistante Projektion ab. Vergleicht man die Mediane der Mercator-Projektion untereinander, dann fällt auf, dass der Median bei der Richtungsangabe am höchsten und bei der Distanz- und Endpunktaufgabe am niedrigsten ist. Für die doppelt-äquidistante Projektion ist er bei der Distanzaufgabe am höchsten und bei der Richtungsangabe am niedrigsten. Für die azimutale äquidistante Projektion ist der Median bei der Richtungs- und Endpunktaufgabe am höchsten und bei der Distanzaufgabe am niedrigsten. Weiterhin ist die Streuung innerhalb der Gruppe mit der Mercator-Projektion am größten und innerhalb der Gruppe mit der doppelt-äquidistanten Projektion am geringsten, was durch die jeweilige Gruppengröße erklärbar ist.

### 4.4.2.5. Diskussion

Entgegen unserer Erwartungen fiel die Performanz bei der Distanzaufgabe mit der Mercator-Projektion für große Distanzen besser aus als für die beiden abstandstreuen Projektionen. In Anbetracht der laut einigen Teilnehmern angewandten Strategie, ist dies möglicherweise dadurch erklärbar, dass die Mercator-Projektion durch ihre Formtreue die Wiedererkennung der Region, in welcher der Endpunkt liegt, erleichtert. Auf kleineren Distanzstufen konnte diese Strategie nicht angewandt werden. Bei der Richtungsangabe zeigten sich keine derartigen Entwicklungen von Trends. Hier schnitt die doppelt-äquidistante Projektion, was den durchschnittlichen Fehler





**Abbildung 4.5.:** Aufgaben auf einem blanken Globus

angeht, auch bei größeren Distanzen besser ab als die Mercator-Projektion. Außerdem schnitt die azimutale äquidistante Projektion bei der größten Distanzstufe mit kleinerem Fehler ab. Bei der Endpunktaufgabe waren nur geringe Differenzen bezüglich des mittleren Fehlers sichtbar. Dies könnte darauf hindeuten, dass die beiden Aufgaben, bei denen die Richtung eine Rolle spielt, nicht allein durch das Einprägen des Endpunktes gelöst wurden. Im Allgemeinen ist die Aussagekraft der Ergebnisse allerdings aufgrund der ungleich verteilten Gruppen und der Stichprobengrößen gering. Zudem ist unbekannt, welche Strategie von den einzelnen Teilnehmern nun in welchen Fällen tatsächlich angewandt wurde.

#### 4.4.3. Implikationen

Durch die Vorstudie wurde klar, dass die Aufgaben keine ausreichende Beurteilung des Verständnisses der Beziehung zwischen Start- und Endpunkt zulassen. Daher entschlossen wir uns, das Design der Aufgaben anzupassen. Um zu vermeiden, dass das Lösen allein durch das Einprägen des Endpunktes bzw. der umliegenden Umgebung möglich ist, entschieden wir, die Länderpolygone vollständig vom Globus zu entfernen. Damit es dennoch möglich ist, sich auf diesem bezüglich der Richtung zu orientieren, wurden Nordpol, Südpol und der Äquator eingeblendet. Der angepasste Globus ist in Abbildung 4.5 für alle drei Aufgaben dargestellt. Der Nordpol ist durch einen orangen Punkt, beschriftet mit „N“, der Südpol durch einen grünen Punkt, beschriftet mit „S“ und der Äquator durch einen schwarzen Kreis markiert.

Nach einigen Testdurchläufen wurde uns allerdings bewusst, dass es auf diese Weise kaum möglich ist, die genaue Distanz sinnvoll einzuschätzen. In den Animationen ist kein objektiver Maßstab vorhanden, der dies zulässt und die Einschätzungen würden wahrscheinlich primär auf Basis von geographischem Vorwissen gemacht werden. Daher entschlossen wir uns, darauf zu verzichten, das Verständnis von Distanz zu untersuchen und entfernten die damit zusammenhängenden Aufgaben der Distanz und des Endpunktes aus dem Studiendesign. Da die blaue Färbung des Globus eine Assoziation zum Ozean hervorruft, wurde dieser für die Richtungsaufgabe der tatsächlichen Studie außerdem in einem Grauton gefärbt (siehe Abbildung A.32).

Aufgrund dessen, dass die Länderpolygone nun nicht mehr auf dem Globus gerendert werden, hat sich die Verzögerungszeit zwischen Richtungsbogen und Slider minimiert. Um feinere Anpassungen über den Slider zu ermöglichen, wurde dieser etwas verlängert.

## 4. Studie

---

Bei kürzeren Distanzen ist von einer höheren Schwierigkeit auszugehen, da der sichtbare Bereich der Erde hier selbst in der Mitte der Transition viel zu klein ist, um beurteilen zu können, wie die beiden Orte in die Welt als Ganzes passen. Die Distanz für den Beispielversuch verringerten wir daher auf 5000 Kilometer, um diesen etwas schwerer zu gestalten. An der Geschwindigkeit der Transitionen änderten wir nichts, da diese objektiv nicht optimal festgelegt werden kann und wir die bisherige für angemessen halten. Zudem war ursprünglich ein mit der Erhöhung der Distanz steigender Schwierigkeitsgrad vorgesehen, womit auch eine erhöhte Geschwindigkeit für längere Strecken verbunden ist.

Den Lerneffekt über die Aufgaben hinweg beabsichtigten wir mit der Randomisierung der Aufgabenreihenfolge über die Teilnehmer auszugleichen. Dennoch ist etwas Vorsicht bei der Analyse der subjektiv wahrgenommenen Schwierigkeit aus der Vorstudie geboten, da diese durch die Aufgabenreihenfolge beeinflusst sein könnte. Für die richtige Studie, in welcher es nur noch eine Aufgabe geben wird, ist dies irrelevant.

Darüber hinaus wurden die formalen Probleme behoben und eine Fortschrittsanzeige (siehe Abbildung A.32) eingefügt.

### 4.5. Angepasstes Studiendesign

Da es in der Studie nur eine Aufgabe geben wird, entschlossen wir uns, die dazugewonnene Zeit zu nutzen, um die Anzahl von Wiederholungen pro Bedingung zu erhöhen. Für das Anschauen aller Animationen und die dazugehörige Angabe der Richtung hielten wir eine Dauer von 15 Minuten für angemessen, sodass wir für die gesamte Studie mit einer Dauer von 20 Minuten pro Teilnehmer rechneten. Aus der Dauer für einen durchschnittlichen Versuch in der Vorstudie ergibt sich hierfür eine maximale Anzahl von 41 Versuchen pro Partizipant. Exklusive des Beispielversuchs und unter der Annahme, dass dieser nicht wiederholt werden muss, sind also für jedes der 4 Distanzintervalle 10 Wiederholungen möglich. Das uns zur Verfügung stehende Geldbudget lässt die Bezahlung von bis zu 90 Teilnehmern zu. Wir werden daher 30 Teilnehmerpakete pro Projektion zur Verfügung stellen. Für die richtige Studie generierten wir also insgesamt 3618 Animationen [HFK23]. Bis auf den Ausschluss der Distanz- und Endpunktaufgabe aus dem gesamten Ablauf und die in Abschnitt 4.4.3 erwähnten Anpassungen ändert sich weiter nichts am bisherigen Studiendesign.

## 5. Ergebnisse

In diesem Kapitel wird die Auswertung der durch die Studie gewonnenen Daten präsentiert und erläutert.

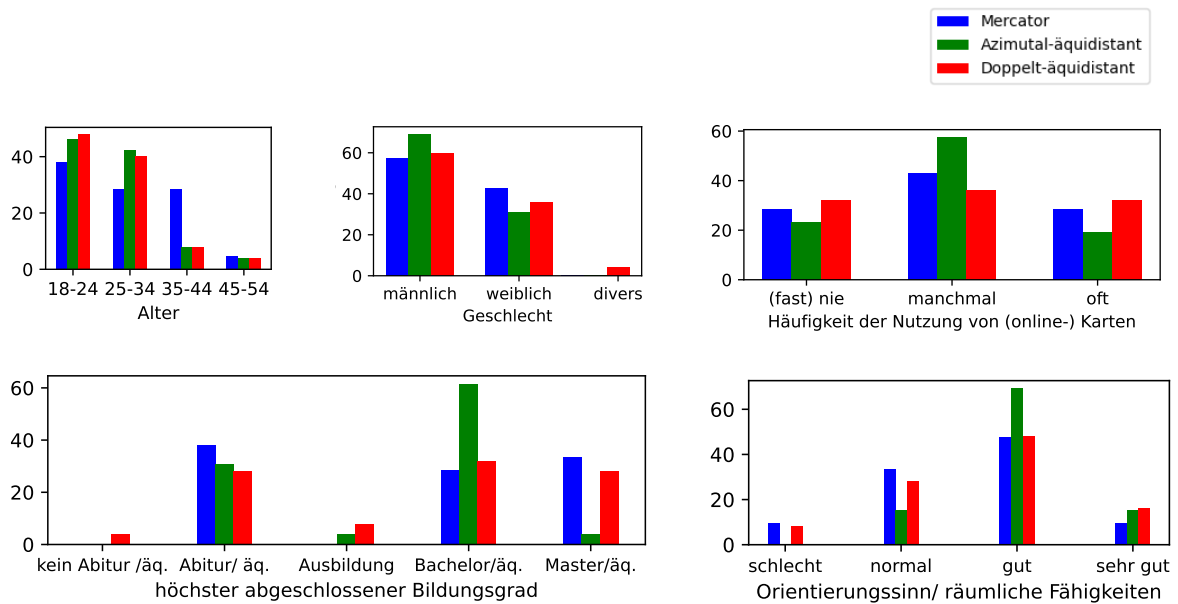
### 5.1. Teilnehmer

Es stellte sich heraus, dass die durchschnittlich benötigte Zeit ein paar Minuten länger war als vorab geschätzt. Somit erhöhten wir die Entlohnung im Laufe der Studie etwas. Da zudem nicht eingeplante Gebühren an Prolific anfielen, reichte das Geldbudget schlussendlich für die Bezahlung von insgesamt 72 Teilnehmern. Vier Partizipanten, deren Ergebnisse aufgrund von Zeit, Fehler und gewählten Slider-Werten Hinweis darauf gaben, dass sie die Aufgaben nicht ernsthaft gelöst hatten, wurden von uns ausgeschlossen und durch neue ersetzt.

Von den finalen Teilnehmern wurden 21 der Mercator-Projektion zugeordnet, 26 der azimutalen äquidistanten Projektion und 25 der doppelt-äquidistanten Projektion. Abbildung 5.1 zeigt, wie Alter, Geschlecht, Bildungsstand, Erfahrung in der Nutzung von Online-Karten und räumliche Fähigkeiten in diesen Gruppen verteilt sind. Die Partizipanten waren zwischen 18 und 54 und der Großteil zwischen 18 und 34 Jahren alt. 7 Teilnehmer, die die Mercator-Projektion zugewiesen bekamen, waren älter als 34, während bei den anderen Projektionen nur jeweils 3 Teilnehmer dieses Alter überschritten. Ansonsten fanden sich hier keine großen Unterschiede zwischen den Gruppenanteilen. Weiterhin identifizierten sich 45 der Teilnehmer als männlich und nur 26 als weiblich. Es war nur einmal divers vertreten. Die Gruppe Azimutal-äquidistant wies den größten Anteil an männlichen und die Gruppe Mercator den größten Anteil an weiblichen Probanden auf. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den Gruppen aber auch hier gering. 68 Partizipanten gaben als höchsten abgeschlossenen Bildungsgrad das Abitur, einen Bachelor- oder Masterabschluss (oder äquivalent) an, nur 3 eine Ausbildung und nur ein Teilnehmer gab an, kein Abitur/ äq. zu haben.

Die Mehrheit aller Partizipanten macht hin und wieder Gebrauch von Online-Karten. Es fanden sich allerdings auch 20 Teilnehmer mit keiner oder fast keiner Erfahrung in der Nutzung von Online-Karten, wovon 8 Teil der Gruppe Doppelt-äquidistant und jeweils 6 Teil der anderen Gruppen waren. Dafür war der Anteil an Teilnehmern, die viel Erfahrung in der Nutzung von Online-Karten aufweisen, in der Gruppe Doppelt-äquidistant am größten. In der Gruppe Mercator und Doppelt-äquidistant gaben die meisten an, manchmal Online-Karten zu nutzen. Zudem schätzten die meisten ihre räumlichen Fähigkeiten als gut ein. Davon stammt der größte Anteil aus der Gruppe Azimutal-äquidistant, in der keiner seinen Orientierungssinn als schlecht einschätzte. In den anderen beiden Gruppen war das jeweils bei 2 Teilnehmern der Fall. Aus der Gruppe Doppelt-äquidistant stufte der größte Anteil seine räumlichen Fähigkeiten als sehr gut ein. Der zweitgrößte Anteil stammte aus der Gruppe Azimutal-äquidistant. Etwas geringer war dieser Anteil in der Gruppe Mercator.

## 5. Ergebnisse



**Abbildung 5.1.:** Verteilung aller drei Gruppen bezüglich der abgefragten demographischen Merkmale. Alle Werte beziehen sich auf die relative Häufigkeit in Prozent und den Anteil an der jeweiligen Gesamtgruppengröße.

Zusammengefasst zeigen sich insgesamt also keine erheblichen demographischen Unterschiede zwischen den Gruppen. Im Gesamten war ein beachtlicher Teil der Teilnehmer jünger als 35. Außerdem weisen die meisten Teilnehmer durchschnittliche Erfahrung in der Nutzung von Online-Karten auf. Das Bildungsniveau der Teilnehmer ist eher hoch und die räumlichen Fähigkeiten sind laut Selbsteinschätzung tendenziell gut.

## 5.2. Performanz

Die 95%-Konfidenzintervalle für den Fehler, die aktive und gesamte Zeit beim Schätzen der Richtung wurden auf dieselbe Weise wie bei der Auswertung der Vorstudie, mittels BCa-Bootstrapping und 10000 Iterationen, berechnet (siehe Abschnitt 4.4.2). In Anbetracht der Verteilung aller vorliegenden Gesamtzeiten entschieden wir uns hier allerdings, Ergebnisse mit einer Gesamtzeit über 70 Sekunden zu eliminieren. Die Intervalle für die Differenzen wurden ebenfalls über die Bonferroni-Korrektur auf 9 Vergleiche angepasst. Die entstandenen Konfidenzintervalle sind in Abbildung 5.2 zu sehen und in Anhang A.2.1 in numerischer Form hinterlegt. Die Interpretation folgt erneut den in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen Richtlinien. Im Folgenden werden die Ergebnisse, aufgeteilt nach der Distanzstufe, erläutert. Dabei wird für „Die Richtungsaufgabe lässt sich schneller/ mit geringerem Fehler für Transitionen über Karten, die mit Projektion x erstellt wurden als für Karten, die mit Projektion y erstellt wurden, lösen.“ abkürzend geschrieben „X ist schneller/ genauer als y“. Außerdem werden die Projektionen kurz als „Mercator“, „Azimutal-äquidistant“ und „Doppelt-äquidistant“ bezeichnet.

### 5.2.1. Distanz 0 (500 - 3000 km)

Die durchschnittlichen Zeiten für Mercator (aktiv: ca. 6 s, gesamt: ca. 8,5 s), für Azimutal-äquidistant (aktiv: ca. 7,1 s, gesamt: ca. 9,3 s) und für Doppelt-äquidistant (aktiv: ca. 7 s, gesamt: ca. 9,7 s) liegen nicht weit auseinander. Es gibt hier keine Evidenz für einen Unterschied, allerdings einen Trend dahingehend, dass Mercator schneller ist als die beiden anderen Projektionen. In der Gesamtzeit zeigt sich außerdem eine leichte Tendenz dazu, dass Azimutal-äquidistant schneller ist als Doppelt-äquidistant. Auch der durchschnittliche Fehler war für Mercator (ca. 20 Grad) etwas geringer als für Azimutal-äquidistant (ca. 33 Grad) und Doppelt-äquidistant (ca. 27 Grad). Zwar gibt es keine Evidenz für einen Unterschied, aber die starke Abweichung des Intervalls in Richtung Mercator gegenüber Azimutal-äquidistant lässt einen Trend erkennen, dass Mercator hier genauer ist. Auch gegenüber Doppelt-äquidistant gibt es eine Abweichung in Richtung Mercator. Im paarweisen Vergleich zwischen Doppelt-äquidistant und Azimutal-äquidistant scheint es eine Tendenz dazu zu geben, dass Doppelt-äquidistant genauer ist.

### 5.2.2. Distanz 1 (3001 - 6000 km)

Auch für Transitionen mit Distanzen aus dem Intervall 1 waren die durchschnittlichen Zeiten für Mercator (aktiv: ca. 6,8 s, gesamt: ca. 9,1 s) etwas geringer als für Azimutal-äquidistant (aktiv: ca. 7,5 s, gesamt: ca. 10 s) und Doppelt-äquidistant (aktiv: ca. 7,1 s, gesamt: ca. 9,7 s). Die Differenz fiel aber kleiner aus als bei Distanz 0. Daher gibt es auch hier keine klare Evidenz, aber trotzdem jeweils einen Trend, dass Mercator schneller ist als Azimutal-äquidistant und Doppelt-äquidistant. Dieser ist jedoch weniger stark als bei Distanz 0. Es zeigt sich außerdem ein sehr schwacher Trend, dass Doppelt-äquidistant schneller ist als Azimutal-äquidistant. Auch der durchschnittliche Fehler war bei Mercator (ca. 20 Grad) niedriger als bei Azimutal-äquidistant (ca. 24 Grad) und Doppelt-äquidistant (ca. 25 Grad). Zwar zeigt sich auch hier keine Evidenz, aber trotzdem ein Trend dahingehend, dass Mercator genauer ist als die beiden anderen Projektionen. Dieser ist allerdings, wie bei der Zeit, in beiden Fällen schwächer als auf Distanzstufe 0. Es gibt, gegensätzlich zu Distanz 0, einen Trend, dass Azimutal-äquidistant genauer ist als Doppelt-äquidistant. Dieser ist jedoch sehr schwach.

### 5.2.3. Distanz 2 (6001 - 9000 km)

Die durchschnittlichen Zeiten für Azimutal-äquidistant (aktiv: ca. 8 s, gesamt: ca. 11 s) waren für diese Distanzstufe, im Vergleich zu Mercator (aktiv: ca. 6,8 s, gesamt: ca. 9 s) und Doppelt-äquidistant (aktiv: ca. 6,3 s, gesamt: ca. 8,8 s), relativ hoch. Daher gibt es auch hier einen Trend dahingehend, dass Doppelt-äquidistant und Mercator, verglichen mit Azimutal-äquidistant, schneller sind. Im Gegensatz zu Distanz 0 und 1 zeigt sich eine leichte Tendenz, dass Doppelt-äquidistant schneller ist als Mercator. Es liegt aber auch hier kein klarer Nachweis für einen Unterschied vor. Der Fehler war bei dieser Distanzstufe für Mercator (ca. 33 Grad) höher als für Azimutal-äquidistant (ca. 23 Grad) und Doppelt-äquidistant (ca. 27 Grad). Im paarweisen Vergleich sind daher, im Gegensatz zu Distanz 0 und 1, Trends dafür erkennbar, dass Azimutal-äquidistant und Doppelt-äquidistant genauer sind als Mercator. Bei Azimutal-äquidistant ist dieser besonders ausgeprägt. Ebenfalls ist ein Trend dafür sichtbar, dass Azimutal-äquidistant genauer ist als Doppelt-äquidistant. Dieser ist etwas stärker als bei Distanz 1. Es ist jedoch in keinem Fall eindeutige Evidenz für einen Unterschied zu erkennen.

### 5.2.4. Distanz 3 (9001 - 12000 km)

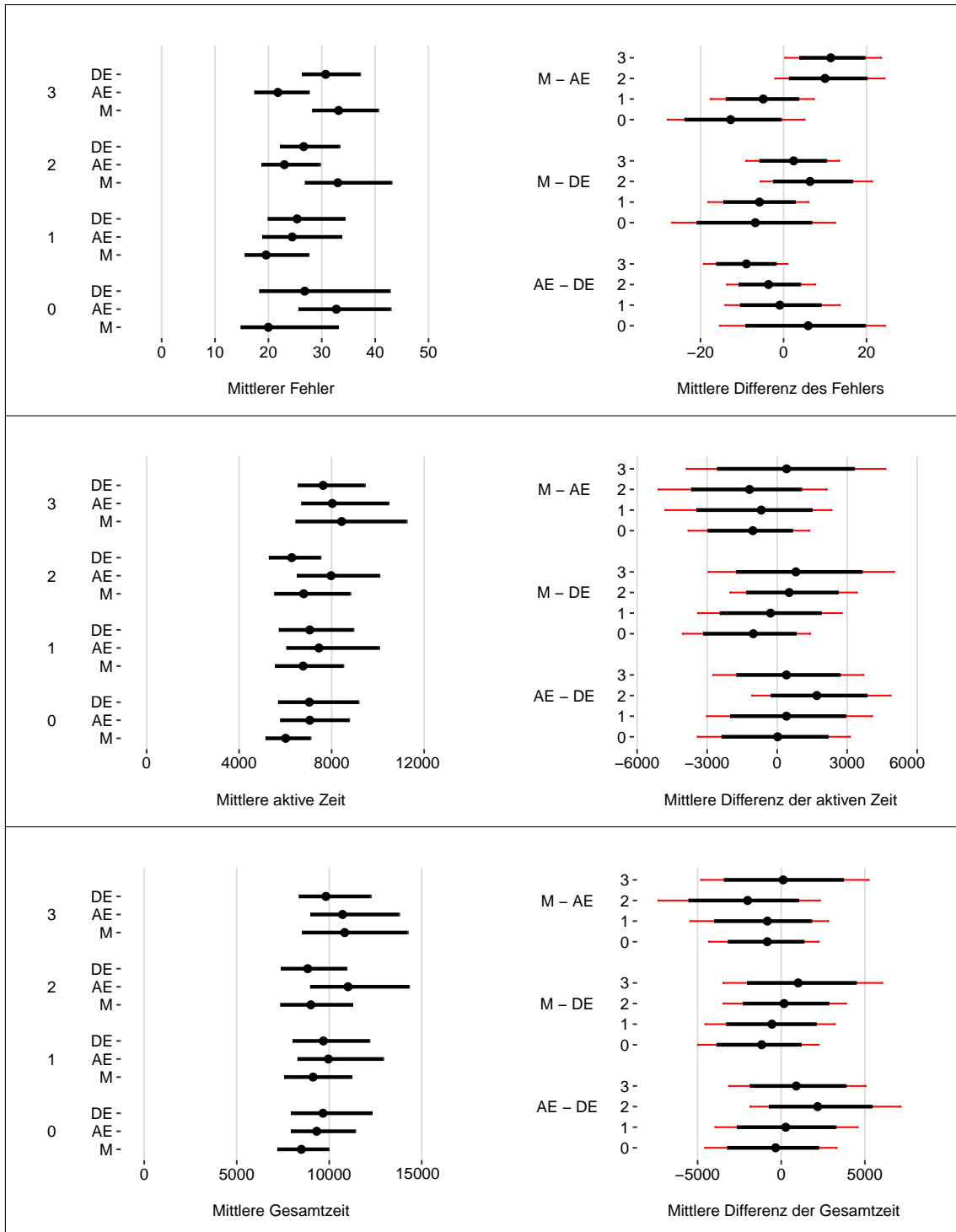
Bei Transitionen auf Distanzstufe 3 liegen die durchschnittlichen Zeiten für Mercator (aktiv: ca. 8,4 s, gesamt: ca. 10,8 s) und Azimutal-äquidistant (aktiv: ca. 8 s, gesamt: ca. 10,7 s) sehr nah beieinander. Die Zeiten für Doppelt-äquidistant (aktiv: ca. 7,6 s, gesamt: ca. 9,8 s) waren etwas geringer. Es zeigt sich daher auch hier ein Trend, dass Doppelt-äquidistant schneller ist als die beiden anderen Projektionen. Gegenüber Mercator ist dieser etwas stärker als bei Distanz 2 und gegenüber Azimutal-äquidistant etwas schwächer. Für die durchschnittliche Gesamtzeit gab es zwischen Mercator und Azimutal-äquidistant auf dieser Distanz nahezu keinen Unterschied mehr. Für die aktive Zeit zeigt sich nun sogar ein schwacher Trend dahingehend, dass Azimutal-äquidistant schneller ist. Es gibt jedoch in keinem der Fälle Evidenz. Der Fehler für Mercator (ca. 33 Grad) ist hier annähernd gleich groß wie auf Distanzstufe 2. Der Fehler für Doppelt-äquidistant (ca. 31 Grad) stieg etwas an und der Fehler für Azimutal-äquidistant (ca. 22 Grad) ist etwas geringer. Es ist auch hier ein leichter Trend zu sehen, dass Doppelt-äquidistant genauer ist als Mercator. Allerdings hat dieser im Vergleich zu Distanz 2 abgenommen. Der Trend, dass Azimutal-äquidistant genauer ist als Doppelt-äquidistant hat weiter zugenommen. Es gibt außerdem leichte Evidenz (linker Whisker des korrigierten Differenzintervalls bei ca. 0,36) dafür, dass Azimutal-äquidistant genauer ist als Mercator.

Im Allgemeinen fällt außerdem auf, dass der durchschnittliche Fehler bei Azimutal-äquidistant mit Erhöhung der Distanzstufe abfällt, während er bei Doppelt-äquidistant (mit Ausnahme eines Abfalls von Distanz 0 zu 1 um 2 Grad) und Mercator ungefähr gleich bleibt oder ansteigt. Vom niedrigsten zum höchsten Distanzintervall verringert sich der durchschnittliche Fehler bei Azimutal-äquidistant insgesamt um ca. 11 Grad, während er bei Mercator um ca. 13 Grad und bei Doppelt-äquidistant um ca. 4 Grad ansteigt. Die durchschnittliche aktive Zeit steigt, mit einer Ausnahme bei Doppelt-äquidistant (Abfall von Distanz 1 zu 2 um ca. 0,78 s), bei allen Projektionen mit Erhöhung der Distanzstufe an. Auch die durchschnittliche gemessene Gesamtzeit steigt bis auf wenige Ausnahmen mit der Distanz an. Bei Mercator sinkt sie von Distanz 1 zu 2 um ca. 0,1 s, bei Azimutal-äquidistant von 2 zu 3 um ca. 0,3 s und bei Doppelt-äquidistant von 1 zu 2 um ca. 0,8 s. Die Messungen der aktiven und gesamten Zeit ähneln sich weitestgehend.

### 5.3. Wahrgenommene Schwierigkeit

Am Schluss sollten die Teilnehmer den Grad der Schwierigkeit bzw. der mentalen Belastung für die Richtungsaufgabe einschätzen. Für die Auswertung ersetzten wir die Auswahlmöglichkeiten durch Zahlen: 1 steht für „sehr niedrig“, 2 für „niedrig“, 3 für „mittelmäßig“, 4 für „hoch“ und 5 für „sehr hoch“. Zur Veranschaulichung wurde aus den Einschätzungen jeder Gruppe ein Boxplot erstellt (siehe Abbildung 5.3).

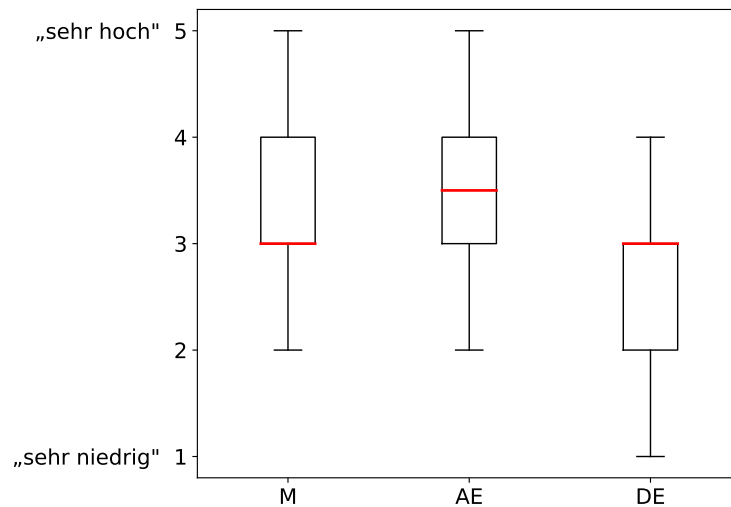
Die Schwierigkeit der Richtungsaufgabe wurde im Gesamten eher als hoch eingeschätzt. Der Median liegt bei der Gruppe Azimutal-äquidistant mit 3,5 am höchsten. Die Mediane für die Mercator-Projektion und die doppelt-äquidistante Projektionen liegen beide bei 3. Der Interquartilsabstand ist bei allen Projektionen 1 und die gesamte Spannweite 3, womit die Meinungen zur Schwierigkeit in allen Gruppen gleich stark schwankten. Starke Ausreißer gab es in keiner Gruppe. In der Gruppe



**Abbildung 5.2.:** Konfidenzintervalle, konstruiert aus den Messungen bei der Richtungsaufgabe. Links jeweils die 95%-Bootstrap-Konfidenzintervalle für die mittlere Gesamtzeit (in ms), für die mittlere aktive Zeit (in ms) und den mittleren Fehler (in Grad) pro Projektion (M: Mercator-Projektion, AE: azimutale äquidistante Projektion, DE: doppelt-äquidistante Projektion) und Distanzstufe (0-3). Rechts jeweils die 95%-Bootstrap-Konfidenzintervalle für die jeweiligen Differenzen zwischen mittlerem Wert des jeweiligen Maßes pro Distanzstufe (in schwarz), mit Hilfe der Bonferroni-Korrektur auf 9 Vergleiche angepasst (in rot). 55 (Tabellarisch in Anhang A.2.1)

## 5. Ergebnisse

---



**Abbildung 5.3.:** Boxplots für die subjektive Einschätzung der Schwierigkeit der Richtungsaufgabe in der Gruppe mit der Mercator-Projektion (M), mit der azimutalen äquidistanten Projektion (AE) und der doppelt-äquidistanten Projektion (DE). Von 1 („sehr niedrig“) bis 5 („sehr hoch“).

Doppelt-äquidistant waren allerdings Wertungen von „sehr niedrig“ bis „hoch“ vertreten, während sich die Einschätzungen in den anderen Gruppen zwischen „niedrig“ und „sehr hoch“ bewegten. Dennoch kamen die Antworten „hoch“ und „sehr hoch“ in der Gruppe Mercator seltener vor als die Antworten „mittelmäßig“ und „niedrig“, während letztere in der Gruppe Azimutal-äquidistant gleich häufig vertreten waren. In der Gruppe Doppelt-äquidistant fiel die Einschätzung häufiger auf „mittelmäßig“ und „hoch“ als auf „sehr leicht“ und „leicht“.

### 5.4. Feedback

Die Bewertung der Schwierigkeit spiegelt sich auch in den, bei der offenen Frage hinterlassenen, Kommentaren wider. In diesen wurde häufig und zum Großteil von Teilnehmern, welchen die azimutale äquidistante Projektion zugeteilt wurde, erwähnt, dass sie deutlich gefordert waren. Einmal wurde argumentiert, dass es schwierig gewesen sei, den Globus zu steuern und die Position der Animation wiederzuerkennen. Ein Proband der Gruppe Mercator merkte insbesondere an, den Wechsel von Karte zu Globus herausfordernd gefunden zu haben. Er beschrieb zudem, die Aufgabe nicht direkt über den Winkel von Start- zu Endpunkt, sondern über den Winkel von Start- und Endpunkt zum Äquator gelöst zu haben, wobei er sich an der natürlichen Krümmung sowie der Länge des Kreisbogens störte. Außerdem wurde häufig erwähnt, dass mehr Beispieldurchläufe und mehr Feedback zu den eigenen Angaben notwendig seien. Weiterhin sei die Beschreibung nicht ausreichend gewesen und es kam der Wunsch nach einem beobachtbaren Beispiel zum Ausdruck. Einige Teilnehmer beschrieben die Studie als interessant und unterhaltend.



## 6. Diskussion

Insgesamt fand sich nur in einem Fall schwache Evidenz dafür, dass die Richtungsaufgabe mit der Mercator-Projektion nicht so genau gelöst werden kann wie mit einer der beiden anderen untersuchten Projektionen. Bei niedrigeren Distanzen (Stufe 0 und 1) zeigten sich sogar Trends, die darauf hindeuten, dass nicht nur eine schnellere, sondern gleichzeitig auch genauere Lösung für Transitionen über Karten, beruhend auf der Mercator-Projektion möglich ist. Möglicherweise hätten weniger kritische Einschränkungen bezüglich der Wahl von Start- und Endpunkt hier andere und teils eindeutiger Ergebnisse herbeigeführt. Denn es dürfte nur ein bestimmter Anteil der Verbindungslinie im Ozean liegen. Des Weiteren sollte es einen Mindestabstand zum oberen und unteren Rand in der äquatorialen Ansicht der Mercator-Projektion geben. Dies führte dazu, dass nur wenige Transitionen entstanden, in denen Start- und/oder Endpunkt in Polnähe liegen. Vor allem für Transitionen über kurze Distanzen und weniger problematische Bereiche der Mercator-Projektion könnte sich eine bessere Performanz auch durch Zufall ergeben.

Die Trends zugunsten der Mercator-Projektion nehmen allerdings bei Distanzstufe 1 ab und entwickeln sich für höhere Distanzen immer mehr in die Gegenrichtung. Außerdem nahm der durchschnittliche Fehler bei der Mercator-Projektion über die Distanzen hinweg erheblich zu. Eine solche Entwicklung wurde aufgrund der zunehmenden Richtungsverzerrung bereits erwartet. Bei Distanz 2 war die durchschnittliche Zeit für Mercator zwar noch geringer als für Azimutal-äquidistant, dafür war der durchschnittliche Fehler bei Azimutal-äquidistant hier bereits kleiner. Auf Distanzstufe 3 gab es fast keinen Unterschied mehr zwischen der Gesamtzeit und die aktive Zeit war hier im Durchschnitt bei der azimutalen äquidistanten Projektion geringer. Gleichzeitig fanden wir hier trotzdem Evidenz dafür, dass Azimutal-äquidistant genauer ist. Dies zeigt, dass sich die azimutale äquidistante Projektion für Kartentransitionen mit einer Entfernung zwischen 9001 und 12000 Kilometer im Hinblick auf die Richtungsaufgabe besser als die Mercator-Projektion eignet. Auch der in der Studie aufgetretene erhebliche Gesamtabfall des durchschnittlichen Winkelfehlers von niedrigster zu höchster Distanz spricht für die Eignung der azimutalen äquidistanten Projektion, was Transitionen über größere Entfernungen angeht. Ab Distanzstufe 2 fanden wir leichte Trends, dass die Aufgabe schneller und genauer mit der doppelt-äquidistanten Projektion als mit der Mercator-Projektion lösbar ist. Für den Fehler ist dieser auf Distanzstufe 3 etwas schwächer als auf Stufe 2.

Im direkten Vergleich zwischen der doppelt-äquidistanten und der azimutalen äquidistanten Projektion zeigte sich auf niedrigster Distanzstufe ein Trend, dass Doppelt-äquidistant genauer ist als Azimutal-äquidistant. Dieser bewegte sich aber ebenfalls mit höheren Distanzen in die Gegenrichtung. Auf Distanzstufe 3 war schließlich ein starker Trend dahingehend zu sehen, dass Azimutal-äquidistant genauer ist. Bei den Zeiten gab es, abgesehen von Distanzstufe 2, auf der Azimutal-äquidistant ziemlich langsam abschnitt, nur leichte Unterschiede zwischen den Mittelwerten. Bis auf niedrigster Distanz war Doppelt-äquidistant allerdings immer etwas schneller. Insgesamt setzte sich die doppelt-äquidistante Projektion, was die Genauigkeit angeht, weniger stark durch als die azimutale äquidistante Projektion. Außerdem stieg der durchschnittliche Fehler der doppelt-äquidistanten

Projektion, im Gegensatz zur azimutalen äquidistanten Projektion, über die Distanzen leicht an. Dies lässt sich auf die Richtungstreue der azimutalen äquidistanten Projektion, die in den Karten der Transition vom Startpunkt aus gilt, zurückführen. Bei der doppelt-äquidistanten Projektion ist das nicht der Fall. Hinzu kommt die Designentscheidung, die Karte jeweils so zu drehen, dass eine Verbindungslinie zwischen dem Kartenmittelpunkt und dem Nordpol vertikal nach oben gerichtet ist. Bei der Azimutalen äquidistanten Projektion ist der Startpunkt der Kartenmittelpunkt. Der Winkel zwischen der Transitionslinie und einer vom Startpunkt aus vertikal nach oben verlaufenden Linie stimmt also mit dem auf dem Globus anzugebenden Azimut am Startpunkt überein. Verwendet man, insbesondere für Transitionen, in denen der Nordpol nicht sichtbar ist, nur die Richtung, in welche die Transition auf dem Bildschirm führt, liegt man also trotzdem richtig. Dennoch ändert sich die Nordrichtung durch diese Art der Drehung für Bereiche in der Nähe des Endpunktes erheblich und unterscheidet sich von der Bekannten. Dies bedeutet zwar, dass die Orientierung dort im Gesamten und bezüglich des Nordpols erschwert ist. Im geprüften Anwendungskontext jedoch geht es um die Richtung vom Startpunkt aus. Hier könnte es auch für die doppelt-äquidistante Projektion von Vorteil sein, den Nordpol von diesem aus in bekannter Orientierung zu zeigen. Bei der doppelt-äquidistanten Projektion ist der Kartenmittelpunkt aber der Mittelpunkt auf gerader Linie zwischen Start- und Endpunkt. Andererseits ändert sich die Nordrichtung damit im Verlauf der Transition nicht so stark wie bei der azimutalen äquidistanten Projektion. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die doppelt-äquidistante Projektion bei größeren Distanzen bezüglich der Schnelligkeit besser abschneidet, was ebenfalls Einfluss auf die Genauigkeit haben könnte.

Die Richtungsaufgabe wurde in der Studie insgesamt als schwer wahrgenommen. Durch die Anpassung des Designs des Globus nach der Vorstudie (siehe Abschnitt 4.4.3) wurde den Teilnehmern die Möglichkeit genommen, sich den Endpunkt oder die Region des Endpunktes einzuprägen. Lediglich den Startpunkt, die Himmelsrichtungen sowie die Äquatorlinie als Referenz zu haben, scheint das genaue Lösen der Aufgabe deutlich anspruchsvoller gestaltet zu haben. Der durchschnittliche Fehler der Richtungsaufgabe war in der Vorstudie unter allen Bedingungen kleiner als bei der richtigen Studie. Dies gilt jedoch nicht für die Zeiten, was auf die exakte Einstellung des Kreisbogens zur Überlappung mit dem Endpunkt zurückführbar ist. Auch wenn sich die Mediane der wahrgenommenen Schwierigkeit nicht stark zu denen der Vorstudie unterscheiden, entwickelte sich der Bereich angegebener Schwierigkeitsstufen in jeder Gruppe nach oben. Die Bewertung als „sehr hoch“ trat in der Vorstudie nicht auf. Allerdings war die Stichprobengröße der Vorstudie auch deutlich kleiner. Dennoch wurde im Feedback der Studie häufiger auf die Schwierigkeit hingewiesen. Hier wären vermutlich tatsächlich mehr Testläufe, mit genauerem Feedback über die Abweichung der eigenen Angabe, sinnvoll gewesen. Ergänzend zu den Beschreibungen, die von manchen Teilnehmern als unzureichend empfunden wurden, würde sich ein Videotutorial eignen. Es wären weitere Vorstudien nötig gewesen, um hierüber Klarheit zu erlangen und das Design, welches starke Abweichungen zu dem der Vorstudie aufweist, ausreichend zu optimieren.

Die Schwierigkeit wurde in der Gruppe mit der azimutalen äquidistanten Projektion insgesamt als am höchsten wahrgenommen. Im Hinblick auf die Performanz macht sich das etwas bei der Zeit, jedoch nicht bei der Genauigkeit bemerkbar. Dies hängt vermutlich mit der durch die im Laufe der Animationen hervorgerufene Desorientierung zusammen. Denn bei großen Distanzen und vor allem in Richtung des Endpunktes kommt zur deutlichen Formverzerrung der azimutalen äquidistanten Projektion auch noch die ungewöhnliche Ausrichtung des Nordpols hinzu.

---

Was die Aussagekraft der Ergebnisse angeht, gibt es weitere Aspekte, die anzumerken sind. Zunächst ist durch das Design der Aufgabe nicht garantiert, dass korrekte Rückschlüsse der Ergebnisse auf die allgemeine Richtungswahrnehmung möglich sind. Denn in der Aufgabe wird die Peilung vom Startpunkt aus zum Endpunkt bzw. die Richtung, in welche die zugehörige Geodäte startet, abgefragt. Für die doppelt-äquidistante und die azimutale äquidistante Projektion stimmt die Geodäte mit der Transitionslinie überein, was die Lösung der Aufgaben für diese Projektionen erleichtern mag. Insbesondere bei der azimutalen äquidistanten Projektion, bei der die Richtung, in welche die Transition startet, diesbezüglich korrekt ist. Trotzdem ändert sich während des Verfolgens dieses Streckenverlaufs die Kompassrichtung. Gerade bei großen Distanzen, bei denen die kürzeste Strecke beispielsweise über einen der Pole hinaus geht, schlägt sie bezüglich der Nord-Südrichtung in die Gegenrichtung um. Die Richtung könnte auch bei Betrachtung des Globus gerade in solchen Fällen intuitiv eher über eine entlang des Verlaufs möglichst konstante Richtung interpretiert werden. So wird sie eher durch die Transitionslinie in der Mercator-Projektion dargestellt. Wir haben weder Information darüber, auf welche Weise die Partizipanten die Richtung aufgefasst haben, noch nach welchen Strategien sie vorgegangen sind. Daher ist selbst Vorsicht bei der Schlussfolgerung der Ergebnisse im Hinblick auf die Wahrnehmung der Richtung bezüglich der Geodäte geboten.

Außerdem spielen geographische Kenntnisse und Vorwissen über die Beziehungen zwischen bestimmten Orten auf der Welt, auch nach Entfernung der Länderpolygone vom Globus, noch eine große Rolle. In verwandten Studien wie der von Treves und Skarlatidou [TS18] oder Midtbø und Nordvik [MN07] wurden weitaus kleinere und unbekanntere Regionen der Erde gezeigt, sodass sich dies hier nicht auswirkte. Für den von uns untersuchten Sachverhalt würden Transitionen in ähnlich kleinen Dimensionen allerdings, in Bezug auf die Unterschiede zwischen den Projektionen, nicht infrage kommen. Um die Beeinflussung dieser Störvariable etwas einzugrenzen, wäre es womöglich sinnvoll, zumindest Personen, die im Bereich der Geowissenschaften tätig sind, nicht zur Studie zuzulassen. Alternativ könnte man, ähnlich wie Harrower und Sheesley [HS07], die für ihre Studie künstliche Landschaften heranzogen, über die Verwendung eines Planeten mit künstlich generierten Länderpolygonen und Straßenlinien nachdenken.

Hinzu kommt, dass durch die Online-Durchführung der Studie keine Garantie zur Bearbeitung unter einheitlichen Voraussetzungen gegeben ist. Zwar wurde dies durch die anfangs gezeigten Anweisungen und die Skalierungsaufgabe versucht, so weit wie möglich herbeizuführen. Dennoch gibt es einige Faktoren, welche kaum vereinheitlicht werden können, wenn jeder die Studie auf einem anderen Gerät und in unterschiedlicher Umgebung durchführt. Zudem konnte nicht kontrolliert werden, ob alle Anweisungen eingehalten wurden und keine unerlaubten Hilfsmittel oder Tricks zum Einsatz kamen. Forscher, wie Midtbø und Nordvik [MN07], die sich ebenfalls für eine Online-Studie entschieden, argumentierten, dass Untersuchungen zu Applikationen, welche später sowieso Anwendung im Internet finden, im entsprechenden Umfeld sinnvoll sind. Denn auch im finalen Anwendungskontext wird nicht jeder das gleiche Gerät benutzen und sich in derselben Umgebung befinden.

Durch die Wahl des Between-Subjects-Designs bezüglich der Projektion ist mit einer höheren Anzahl an Wiederholungen zwar eine größere Robustheit der Durchschnittswerte gegeben. Allerdings könnte die Vergleichbarkeit zwischen den Projektionen hierdurch geschmälert sein. Bezüglich der Demographie gibt es zwar keine erheblichen Unterschiede zwischen den Gruppen und auch die Gruppengrößen weichen nicht stark voneinander ab. Allerdings ist die Einschätzung der Schwierigkeit von der subjektiven Wahrnehmung der individuellen Teilnehmer abhängig. Ebenso unterscheidet sich wahrscheinlich auch die Genauigkeit und Schnelligkeit, mit der verschiedene

## 6. Diskussion

---

Teilnehmer in der Lage sind, die Aufgabe zur gleichen Bedingung zu lösen. Daher wären die Messungen zu verschiedenen Projektionen desselben Teilnehmers vermutlich besser vergleichbar als zwischen verschiedenen Teilnehmern.

Die Stichprobe setzt sich überwiegend aus jungen Teilnehmern, sowie Teilnehmern mit höherem Bildungsgrad und guten räumlichen Fähigkeiten zusammen. Zur Hauptnutzergruppe von Online-Karten zählen vermutlich ebenfalls eher jüngere Menschen. Allerdings ist anzunehmen, dass der Bildungsgrad in dieser Gruppe stärker variiert als in der vorliegenden Personengruppe. Zudem ist die Verteilung der Herkunftsländer aufgrund dessen, dass die meisten Prolific-Nutzer, die teilgenommen haben, aus West- oder Südeuropa stammen, recht einseitig. Hierdurch ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Teilnehmer sich vorrangig in dieser Region auskennt, was die Repräsentativität der Stichprobe ebenfalls verringert. Dennoch dürfte dies durch die zufällige und möglichst gleichverteilte Wahl von Start- und Endpunkt der Transitionen keinen Bias herbeigeführt haben.

## 7. Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, zu vergleichen, wie sich die Nutzung der Mercator-Projektion, der azimutalen äquidistanten Projektion und der doppelt-äquidistanten Projektion bei animierten Kartentransitionen auf das Verständnis der räumlichen Beziehung zwischen Start- und Endpunkt auf dem Globus auswirkt. Dabei wollten wir die Wahrnehmung der Distanz und Richtung durch drei Aufgaben für verschiedene, über die Entfernung zwischen Start- und Endpunkt variierende, Schwierigkeitsstufen untersuchen. Die Generierung der Stimuli wurde so implementiert, dass die gezeigten Kartentransitionen nach Definition vergangener Arbeiten möglichst effektiv sind.

Das Feedback der durchgeführten Vorstudie sowie das eigenhändige Testen offenbarten, dass die Aufgaben mit dem initial entworfenen Design in den meisten Fällen nicht über die Relation zwischen den beiden Punkten gelöst werden. Wir entschlossen uns daher, das Rendern von Länderpolygonen auf dem Globus der Aufgaben in der richtigen Studie zu unterlassen. Im Zuge dessen kamen wir zur Erkenntnis, dass Kartentransitionen der vorliegenden Art keine objektive Beurteilung der Distanz zulassen.

Die finale Online-Studie beschränkten wir daher auf die Aufgabe zum Testen der Wahrnehmung der Richtung von Start- zu Endpunkt. Es nahmen insgesamt 72 Personen teil. Wir fanden schwache Evidenz dafür, dass die azimutale äquidistante Projektion ein korrekteres Verständnis der Richtung bezüglich der Geodäte bei Kartentransitionen mit einer großen Distanz (zwischen 9001 und 12 000 Kilometern) zulässt als die Mercator-Projektion. Ansonsten entdeckten wir für die Zeit und den Fehler Trends, die auf den zwei niedrigsten Distanzstufen die Eignung der Mercator-Projektion andeuten. Mit Erhöhung der Distanz entwickelten sich diese Trends größtenteils zugunsten der beiden anderen Projektionen. Im paarweisen Vergleich zwischen der azimutalen äquidistanten und der doppelt-äquidistanten Projektion fand sich lediglich auf kleinster Distanz ein Trend dahingehend, dass sich die Richtungsaufgabe mit der doppelt-äquidistanten Projektion genauer lösen lässt. Auch dieser bewegte sich mit steigender Distanz immer weiter in Richtung der azimutalen äquidistanten Projektion. Die durchschnittlichen Zeiten allerdings waren in den meisten Fällen für die doppelt-äquidistante Projektion etwas geringer. Die Schwierigkeit der Aufgabe wurde von der Gruppe mit der azimutalen äquidistanten Projektion als am höchsten eingeschätzt.

Insgesamt konnten wir keine erheblichen Unterschiede zwischen den Projektionen feststellen. Besonders für Transitionen, bei denen eine Großkreisdistanz von mindestens 6000 Kilometern zwischen Start- und Endpunkt liegt, könnte es dennoch sinnvoll sein, sich für die azimutale äquidistante Projektion zu entscheiden. Das gilt aber nur, falls das Ziel ist, ein möglichst korrektes Verständnis der Richtung des Endpunktes vom Startpunkt aus bezüglich der kürzesten Route zu schaffen. Wenn die kognitive Belastung dabei gering sein sollte, ist allerdings von der azimutalen äquidistanten Projektion abzuraten.

## **Ausblick**

Für zukünftige Studien dieser Art sollte die Generierung der Stimuli in gewissen Aspekten abgeändert werden. Es sollte beispielsweise eine für den Anwendungsfall sinnvolle Regel zur Drehung der Karte bei der doppelt-äquidistanten Projektion gefunden und implementiert werden. Außerdem könnte man die Beschränkungen für die Wahl von Start- und Endpunkt so abändern, dass für die Mercator-Projektion mehr Transitionen in Polnähe zugelassen werden.

Um ein klareres Verständnis darüber zu bekommen, auf welche Weise die Richtung von den Teilnehmern beurteilt wird, sollte eine Vor-Ort-Studie in Betracht gezogen werden. Während dieser könnten die Teilnehmer über ihr Vorgehen in den verschiedenen Fällen befragt werden. Es sollte zusätzlich darüber nachgedacht werden, das Verständnis der Richtung in unterschiedliche Interpretationsfälle aufzuteilen, diese ausreichend zu erklären und schließlich zu testen. Beispielsweise könnte eine Aufgabe eingebunden werden, die nicht zwingend nach dem Azimut der Geodäte am Startpunkt, sondern nach der allgemeinen Richtung, in die der Endpunkt liegt, fragt. Diese könnte auf einem Kompass angegeben werden.

In jedem Fall sollten aber weitere Vorstudien durchgeführt und aufgrund der Komplexität der Thematik mehr Training, sowie genaueres Feedback zu diesem, eingebaut werden.

# Literaturverzeichnis

- [Ast] V. A. Asturiano. *react-globe.gl: React component for Globe Data Visualization using ThreeJS/WebGL*. URL: <https://github.com/vasturiano/react-globe.gl> (besucht am 19. 04. 2023) (zitiert auf S. 37).
- [BAK09] C. Baulig, B. Al-Nawas, F. Krummenauer. „Das Konfidenzintervall—die anschauliche Alternative zum p-Wert“. In: *Z Zahnärztl Impl* 25 (2009), S. 55–57 (zitiert auf S. 31).
- [BB99] B. B. Bederson, A. Boltman. „Does animation help users build mental maps of spatial information?“ In: *Proceedings 1999 IEEE symposium on information visualization (InfoVis' 99)*. IEEE. 1999, S. 28–35. DOI: [10.1109/INFVIS.1999.801854](https://doi.org/10.1109/INFVIS.1999.801854) (zitiert auf S. 13, 15, 16, 34).
- [Bel] F. Bellard. *FFmpeg*. URL: <https://ffmpeg.org/> (besucht am 19. 05. 2023) (zitiert auf S. 42).
- [Bos12] M. Bostock. *D3.js - Data-Driven Documents*. 2012. URL: <http://d3js.org/> (besucht am 18. 04. 2023) (zitiert auf S. 24, 25, 27, 41).
- [Bra] P. Bradley. *Prolific*. URL: <https://www.prolific.co/> (besucht am 20. 05. 2023) (zitiert auf S. 42).
- [Cum14] G. Cumming. „The new statistics: Why and how“. In: *Psychological science* 25.1 (2014), S. 7–29. DOI: [10.1177/0956797613504966](https://doi.org/10.1177/0956797613504966) (zitiert auf S. 30).
- [Cyb21] P. Cybulski. „Effectiveness of Memorizing an Animated Route—Comparing Satellite and Road Map Differences in the Eye-Tracking Study“. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10.3 (2021). ISSN: 2220-9964. DOI: [10.3390/ijgi10030159](https://doi.org/10.3390/ijgi10030159). URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/3/159> (zitiert auf S. 35, 42).
- [DE96] T. J. DiCiccio, B. Efron. „Bootstrap confidence intervals“. In: *Statistical science* 11.3 (1996), S. 189–228. URL: <http://www.jstor.org/stable/2246110> (zitiert auf S. 31, 32).
- [Fra] M. Franke. *Demo Flask Server for Online Studies*. URL: <https://github.tik.uni-stuttgart.de/frankemx/online-study-flask-server> (besucht am 20. 04. 2023) (zitiert auf S. 45).
- [HF08] M. Harrower, S. Fabrikant. „The Role of Map Animation for Geographic Visualization“. In: *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications* (Juni 2008). doi: [10.5167/uzh-8979](https://doi.org/10.5167/uzh-8979) (zitiert auf S. 15–17).
- [HFK23] A. Hirsch, M. Franke, S. Koch. *Stimulus Data for “Comparative Study on the Perception of Direction in Animated Map Transitions Using Different Map Projections”*. Version V1. 2023. DOI: [10.18419/darus-3463](https://doi.org/10.18419/darus-3463). URL: <https://doi.org/10.18419/darus-3463> (zitiert auf S. 50).

- [HL05] J. S. Haukoos, R. J. Lewis. „Advanced statistics: bootstrapping confidence intervals for statistics with “difficult” distributions“. In: *Academic emergency medicine* 12.4 (2005), S. 360–365. doi: [10.1197/j.aem.2004.11.018](https://doi.org/10.1197/j.aem.2004.11.018) (zitiert auf S. 31).
- [HMA+15] A. Hall, S. Multimäki, P. Ahonen-Rainio et al. „Audio enhanced map animation—testing perception of spatial and temporal relations“. In: *Proceedings of the 27th International Cartographic Conference, Rio de Janeiro, Brazil*. 2015 (zitiert auf S. 36).
- [HR07] J. Heer, G. Robertson. „Animated transitions in statistical data graphics“. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 13.6 (2007), S. 1240–1247. doi: [10.1109/TVCG.2007.70539](https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.70539) (zitiert auf S. 13, 16, 17, 35, 42).
- [HS05] M. Harrower, B. Sheesley. „Moving beyond novelty: creating effective 3D fly-over maps“. In: *Anais: 22th International Cartographic Conference Mapping Approaches into a Changing World*. 2005, S. 9–16. doi: [10.1559/152304007780279096](https://doi.org/10.1559/152304007780279096) (zitiert auf S. 15, 33).
- [HS07] M. Harrower, B. Sheesley. „Utterly Lost: Methods for Reducing Disorientation in 3-D Fly-Over Maps“. In: *Cartography and Geographic Information Science* 34.1 (2007), S. 17–27. doi: [10.1559/152304007780279096](https://doi.org/10.1559/152304007780279096) (zitiert auf S. 15, 34, 59).
- [KG13] K. N. Kirby, D. Gerlanc. „BootES: An R package for bootstrap confidence intervals on effect sizes“. In: *Behavior research methods* 45 (2013), S. 905–927. doi: [10.3758/s13428-013-0330-5](https://doi.org/10.3758/s13428-013-0330-5) (zitiert auf S. 31).
- [KP] N. Kelso, T. Patterson. *Natural Earth - Free vector and raster map data at 1:10m, 1:50m, and 1:110m scales*. URL: <https://www.naturalearthdata.com/> (besucht am 18.04.2023) (zitiert auf S. 24, 25, 27, 37, 41).
- [Kro12] B. Krol. „Statistik—eine kurze Einführung“. In: *Medizinökonomie: Band 2: Unternehmerische Praxis und Methodik* (2012), S. 379–408 (zitiert auf S. 29).
- [LU17] M. Lapaine, E. L. Usery. *Choosing a map projection*. Springer, 2017 (zitiert auf S. 20, 22, 24, 25, 27, 41).
- [MN07] T. Midtbø, T. Nordvik. „Effects of Animations in Zooming and Panning Operations on Web maps: A Web-based Experiment“. In: *Cartographic Journal - CARTOGR J* 44 (Dez. 2007). doi: [10.1179/000870407X241845](https://doi.org/10.1179/000870407X241845) (zitiert auf S. 34, 59).
- [Roh] L. H. Rohwedder. *Azimutale Abbildungen*. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kartennetzentwurf> (besucht am 19.05.2023) (zitiert auf S. 26).
- [SI08] M. Shanmugasundaram, P. Irani. „The effect of animated transitions in zooming interfaces“. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. 2008, S. 396–399. doi: [10.1145/1385569.1385642](https://doi.org/10.1145/1385569.1385642) (zitiert auf S. 34).
- [ŠJWS15] B. Šavrič, B. Jenny, D. White, D.R. Strebe. „User preferences for world map projections“. In: *Cartography and Geographic Information Science* 42.5 (2015), S. 398–409. doi: [10.1080/15230406.2015.1014425](https://doi.org/10.1080/15230406.2015.1014425) (zitiert auf S. 21, 36).
- [Sny87] J. P. Snyder. *Map projections—A working manual*. Bd. 1395. US Government Printing Office, 1987 (zitiert auf S. 21–26).
- [Sny97] J. P. Snyder. *Flattening the earth: two thousand years of map projections*. University of Chicago Press, 1997 (zitiert auf S. 21, 27, 28).



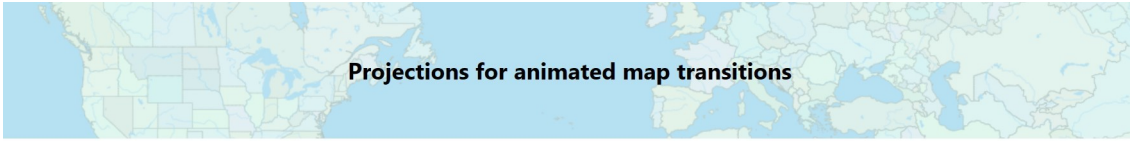
- 
- [Tho70] P. D. Thomas. *Spheroidal Geodesics, Reference Systems and Local Geometry*. Defense Technical Information Center, 1970 (zitiert auf S. 27, 28).
- [TMB02] B. Tversky, J. B. Morrison, M. Betrancourt. „Animation: can it facilitate?“ In: *International journal of human-computer studies* 57.4 (2002), S. 247–262. DOI: <https://doi.org/10.1006/ijhc.2002.1017> (zitiert auf S. 16).
- [TPS12] L. Tsoulos, A. Palikaris, A. Skopeliti. „Choosing a Suitable Projection for Navigation in the Arctic. National Technical University of Athens, Cartography Laboratory, DOI:10.13140/RG.2.1.2809.2240“. In: (Jan. 2012). DOI: [10.13140/RG.2.1.2809.2240](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2809.2240) (zitiert auf S. 36).
- [TS18] R. Treves, A. Skarlatidou. „What path and how fast? The effect of flight time and path on user spatial understanding in map tour animations“. In: *Cartography and Geographic Information Science* 45.2 (2018), S. 128–139. DOI: [10.1080/15230406.2016.1275812](https://doi.org/10.1080/15230406.2016.1275812) (zitiert auf S. 17, 33, 41, 59).
- [VN04] J. J. Van Wijk, W. A. Nuij. „A model for smooth viewing and navigation of large 2D information spaces“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 10.4 (2004), S. 447–458. DOI: [10.1109/TVCG.2004.1](https://doi.org/10.1109/TVCG.2004.1) (zitiert auf S. 5, 13, 14, 17–19, 42).
- [Wal] J. Walke. *React*. URL: <https://react.dev/> (besucht am 20.04.2023) (zitiert auf S. 45).



# A. Anhang

## A.1. Vorstudie

### A.1.1. Ablauf



Welcome to this user study!

Please read carefully through the **general information** and the **data protection regulation** before starting with the study.

**General information**

I am conducting this study in the course of my bachelor's thesis to investigate the suitability of three different map projections for animated map transitions. These are the "Mercator projection", the "Azimuthal equidistant projection" and the "Two-point equidistant projection". Each of the projections can be used to create the underlying map for the animation of transitions between two places on earth. But they all bring different advantages and disadvantages regarding this purpose. As this study follows the between-group design, you will only see animations on one of them.

**Procedure**

In the following, there will first be a short scaling task to guarantee that the videos will be the same size on devices of different resolutions. Then you will be asked some questions about your demographic background. During the study, you will see several animations for which you will have to solve tasks of three different types. There will be an explanation and example task before you will have to solve tasks of a new type. Before the example task, you will have the possibility to watch the animation twice. You have to repeat watching the animation and making a guess until the answer is sufficiently accurately. At the real trials, you can watch each video only once, so please pay attention! You will see the first frame of the animation for 2 seconds before the transition begins and the last frame for 2 seconds before it will be covered again. After each animation, you will be immediately directed to the task. Afterward, there will be a short qualitative analysis, including a personal assessment for each type of task. In the end, you can leave behind a comment or some feedback. The data acquired during the completion of the tasks, as well as the demographic data, data of the qualitative analysis and possible comments at the end will be sent and saved after you finish the experiment. The study will take approximately 35 minutes and you will be shown 63 animations in total.

**Important notes**

- The following utensils are required:
  - A device with mouse, keyboard and at least 15.6" screen diagonal
  - A credit card or a card with the same dimensions
- Please assume a normal and upright sitting position. Your chair should have a normal distance to the monitor and you should avoid moving your head closer to the screen.
- A quiet environment is important when performing the tasks
- Make sure to be well-rested mentally
- Do not use any external aids (e.g. your hands or pens)
- Do not zoom into the animations
- The time needed for completing each task will be measured. This does not apply to the example tasks, for which you can take as much time as you need. Nevertheless, you should take care to complete the tasks correctly rather than aiming for a faster completion time.

Please make sure to follow and keep in mind the instructions above during the whole experiment to leave reasonable data!

> Data protection regulation

I read and agree with the general data protection regulation.

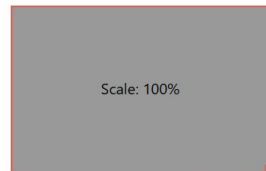
START

Abbildung A.1.: Startseite

## A. Anhang

---

Please take a credit card or another card with similar dimensions, hold it to the screen, and drag the rectangle to the same size.



SUBMIT

**Abbildung A.2.:** Skalierungsaufgabe

## Demographic Data

### Gender

- Male  Female  Diverse  Prefer not to say

### Age

- Under 18  
 18 - 24  
 25 - 34  
 35 - 44  
 45 - 54  
 Over 54

### Education

Which of the following is the highest degree or level of school you have completed?

- Less than a high school diploma  
 High school degree or equivalent  
 Vocational training  
 Bachelor's degree or equivalent  
 Master's degree or equivalent  
 Doctorate degree or higher

### Personal skills

How often do you use or work with (online-) maps?

- (Almost) never  
 Sometimes  
 Often

Please rate how much you agree with the following statement:

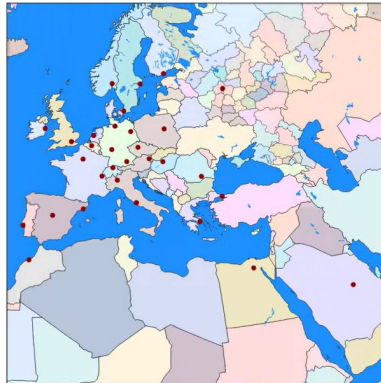
*"I am able to orient myself well spatially and have good spatial skills in general."*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

SUBMIT

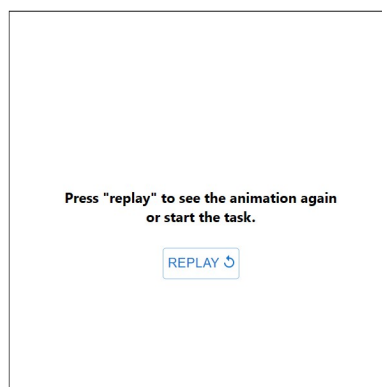
Abbildung A.3.: Demographische Fragen

(Test Run)



**Abbildung A.4.:** Während des Abspielens einer Animation für einen Testdurchlauf

(Test Run)




START TASK >

**Abbildung A.5.:** Nach einmaligem Anschauen der Animation für einen Testdurchlauf

**Task:**

**Specifying the distance**



For this task, you have to indicate the distance covered during the transition. Therefore, there will be shown a globe with the start point, represented by a red dot in the center. By moving the slider below to the right you will enlarge a circle around the start point, whose radius indicates the distance. You can change the distance as often as necessary. Press "Commit" to finally submit your result. The maximum distance you can choose is 12000 km. Also, you can rotate the globe by clicking on it with the left mouse button, keeping it pressed, and moving the mouse around. Using the scroll wheel, you can zoom in.

To solve the example task sufficiently accurately, the difference between the distance you stated and the real distance may not be larger than 1000 km.

Please watch the videos attentively and try to solve the tasks as well as possible.

UNDERSTOOD

Abbildung A.6.: Beschreibung der Distanzaufgabe




Please enlarge the red circle so that its radius is equivalent to the distance between start and endpoint of the previous transition. X

CONFIRM

Abbildung A.7.: Distanzaufgabe

**Task:**

**Specifying the direction**




For this task, you have to indicate the direction from the startpoint to the endpoint of the transition regarding the shortest path. Therefore, there will be shown a globe with the startpoint represented by a red dot in the center. By moving the slider below you will change the direction, which is indicated by the red arc going away from the start point. By moving the slider to the right you rotate the arc clockwise, and by moving it to the left it will rotate counterclockwise. You can change the direction as often as necessary. Press "Commit" to finally submit your result. Also, you can rotate the globe by clicking on it with the left mouse button, keeping it pressed, and moving the mouse around. Using the scroll wheel, you can zoom in.

To solve the example task sufficiently accurately, the angle between the direction you stated and the real direction may not be larger than 30 degrees.

Please watch the videos attentively and try to solve the tasks as well as possible.

**UNDERSTOOD**

Abbildung A.8.: Beschreibung der Richtungsaufgabe



The red point indicates the start point of the transition you just saw.

Please rotate the arc with help of the slider, so that it goes toward the direction in which you think the endpoint of the transition lies. In other words, if you choose the right direction, the shortest path between start and end point is part of the arc.


**CONFIRM**

Abbildung A.9.: Richtungsaufgabe



**Task:**

**Specifying the endpoint**




For this task, you have to indicate the endpoint of the transition. Therefore, there will be shown a globe with the startpoint represented by a black dot in the center. To specify the endpoint you just have to click on the respective location at the globe where a red dot, which indicates the endpoint, will appear. You can change the endpoint as often as necessary. Press "Commit" to finally submit your result. Also, you can rotate the globe by clicking on it with the left mouse button, keeping it pressed, and moving the mouse around. Using the scroll wheel, you can zoom in.

To solve the example task sufficiently accurately, the distance between the endpoint you stated and the real endpoint may not be larger than 1000 km.

Please watch the videos attentively and try to solve the tasks as well as possible.

UNDERSTOOD

Abbildung A.10.: Beschreibung der Endpunktaufgabe





















Please state the location at which you think the endpoint of the previous transition lies.

CONFIRM

Abbildung A.11.: Endpunktaufgabe

## A. Anhang

Please rate for each type of task how difficult/ mentally demanding it was for you to solve it.

Type of task	Mental demand
Specifying the distance 	 very low  low  medium  high  very high
Specifying the direction 	 very low  low  medium  high  very high
Specifying the endpoint 	 very low  low  medium  high  very high

[CONFIRM](#)

Abbildung A.12.: Bewertung der Schwierigkeit

**Do you have any remarks?**

Write here...

FINISH

**Abbildung A.13.:** Offene Frage

**Thank you for participating!**

You can find the Prolific completion-code in the box below.

**Abbildung A.14.:** Bedankung und Feld für den Prolific-Completion-Code der richtigen Studie

### A.1.2. Demographie

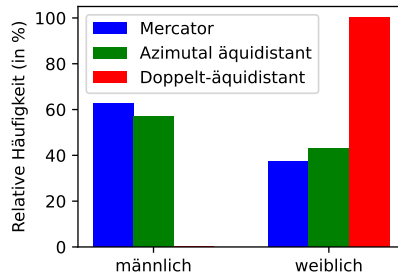


Abbildung A.15.: Anteilhafte Geschlechterverteilung der drei Gruppen

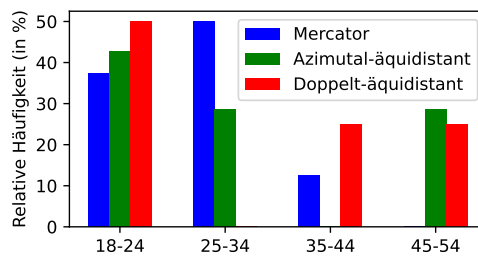


Abbildung A.16.: Anteilhafte Altersverteilung der drei Gruppen

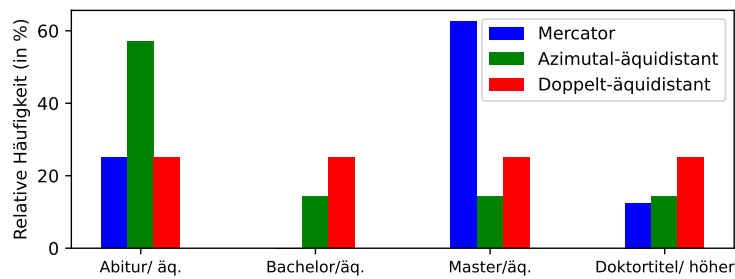


Abbildung A.17.: Anteilhafte Verteilung aller drei Gruppen nach dem Bildungsgrad

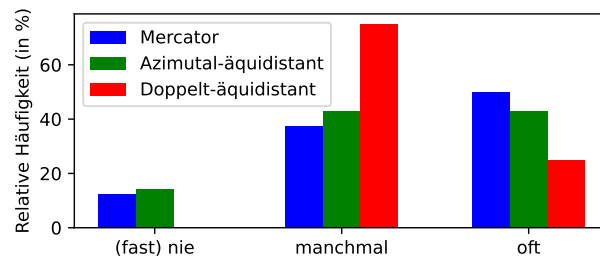


Abbildung A.18.: Anteilhafte Verteilung aller drei Gruppen nach Häufigkeit der Nutzung von Online-Karten

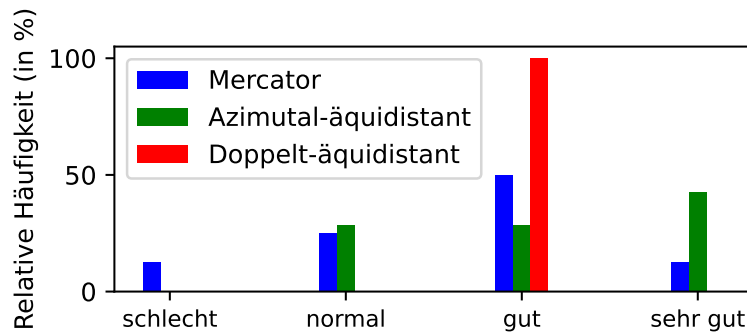


Abbildung A.19.: Anteilhafte Verteilung aller drei Gruppen nach räumlichen Fähigkeiten

### A.1.3. Performanz

In den folgenden Abbildungen wird die Mercator-Projektion mit „M“, die azimutale äquidistante Projektion mit „AE“ und die doppelt-äquidistante Projektion mit „DE“ abgekürzt. Zudem werden auf der linken Seite jeweils die 95%-Bootstrap-Konfidenzintervalle für die mittlere Gesamtzeit (in ms), für die mittlere aktive Zeit (in ms) oder den mittleren Fehler (bei der Distanz- und Endpunktaufgabe in Kilometern, bei der Richtungsaufgabe in Grad) pro Projektion und Distanzstufe gezeigt. Rechts sind für die paarweisen Vergleiche zwischen den Projektionen jeweils die 95%-Bootstrap-Konfidenzintervalle für die jeweiligen Differenzen zwischen mittlerem Wert des jeweiligen Maßes pro Distanzstufe in schwarz zu sehen. Die roten Whisker deuten die Bonferroni-Korrektur auf 9 Vergleiche an.

#### A.1.3.1. Distanzaufgabe

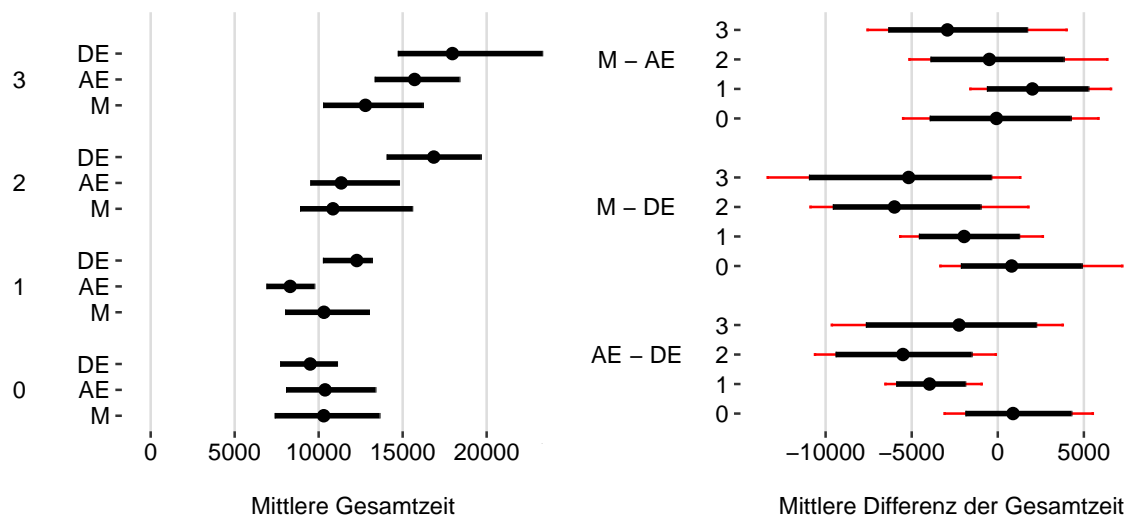


Abbildung A.20.: Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Distanzaufgabe

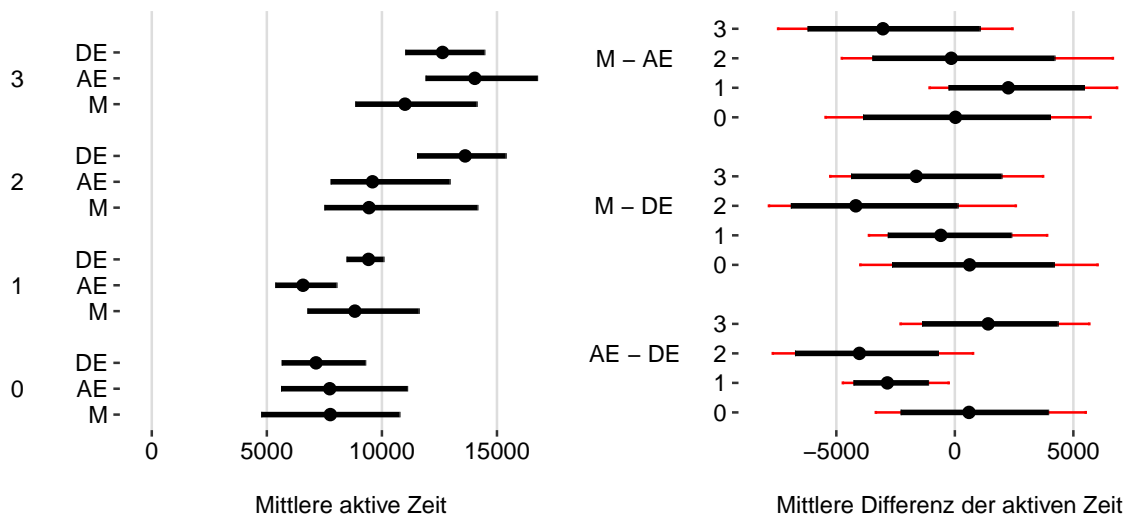


Abbildung A.21.: Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Distanzaufgabe

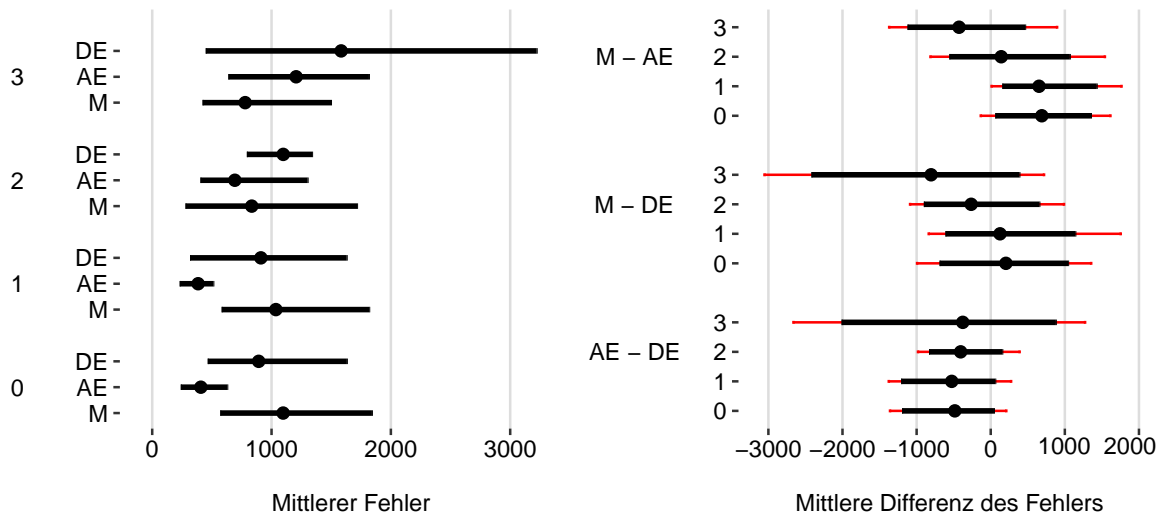
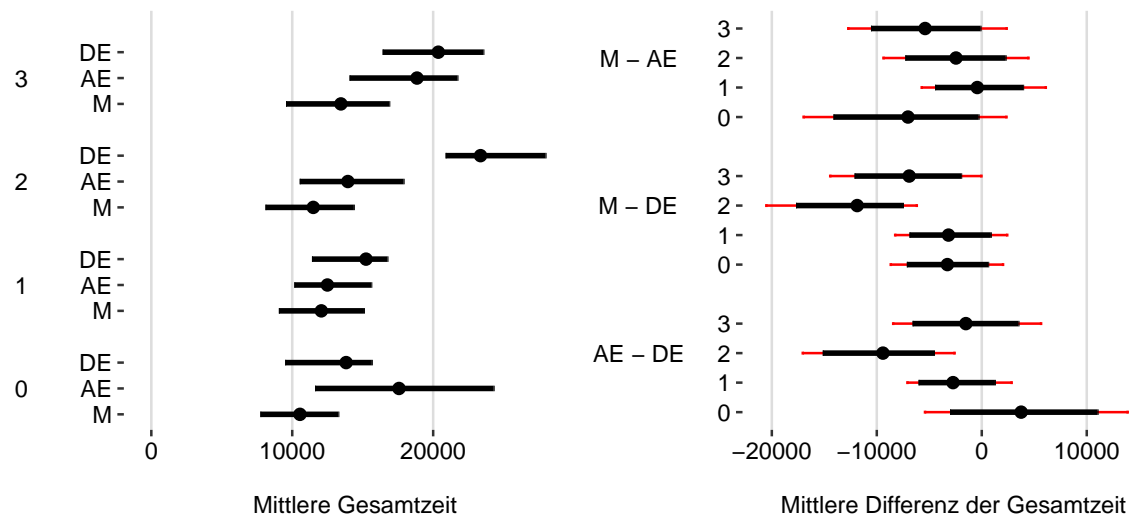
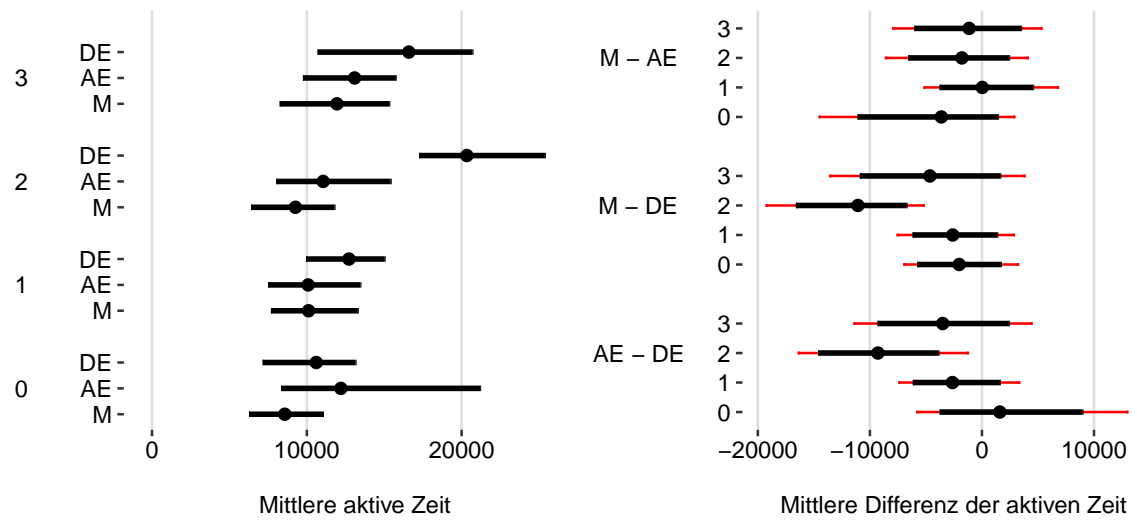


Abbildung A.22.: Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Distanzaufgabe

**A.1.3.2. Richtungsaufgabe**



**Abbildung A.23.:** Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Richtungsaufgabe



**Abbildung A.24.:** Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Richtungsaufgabe

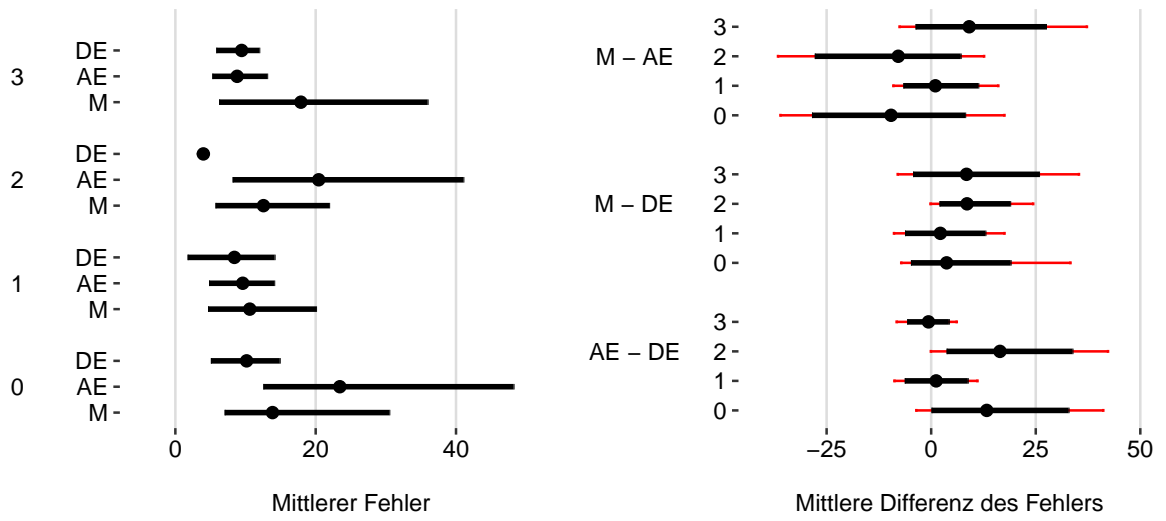


Abbildung A.25.: Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Richtungsaufgabe

A.1.3.3. Endpunktaufgabe

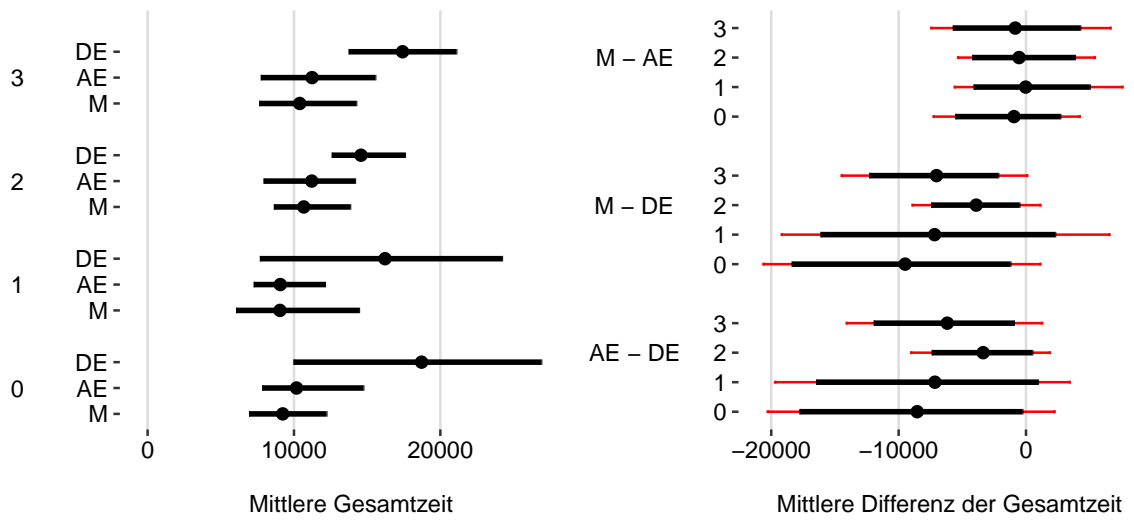


Abbildung A.26.: Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit bei der Endpunktaufgabe



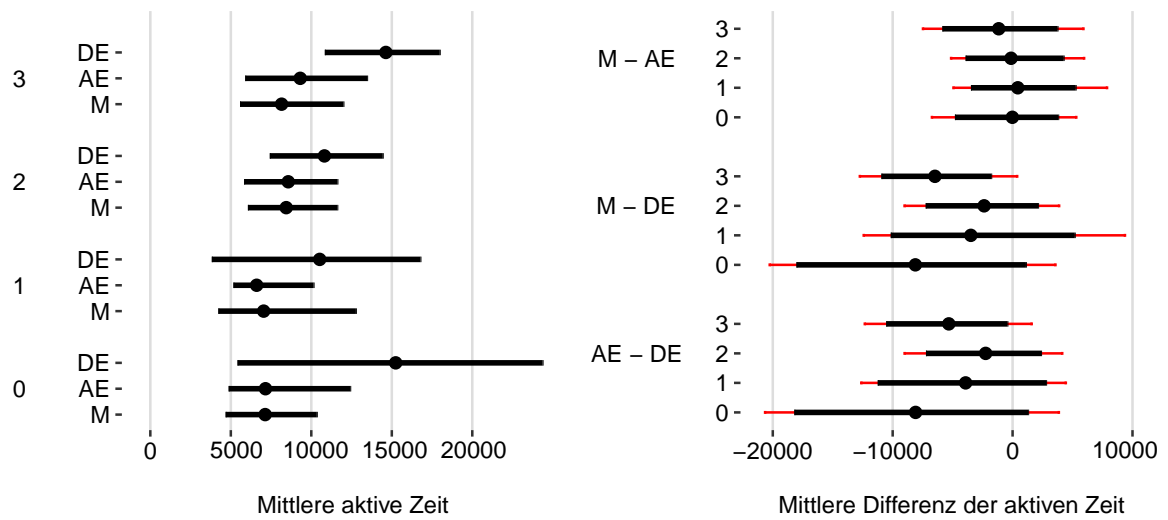


Abbildung A.27.: Konfidenzintervalle für die aktive Zeit bei der Endpunktaufgabe

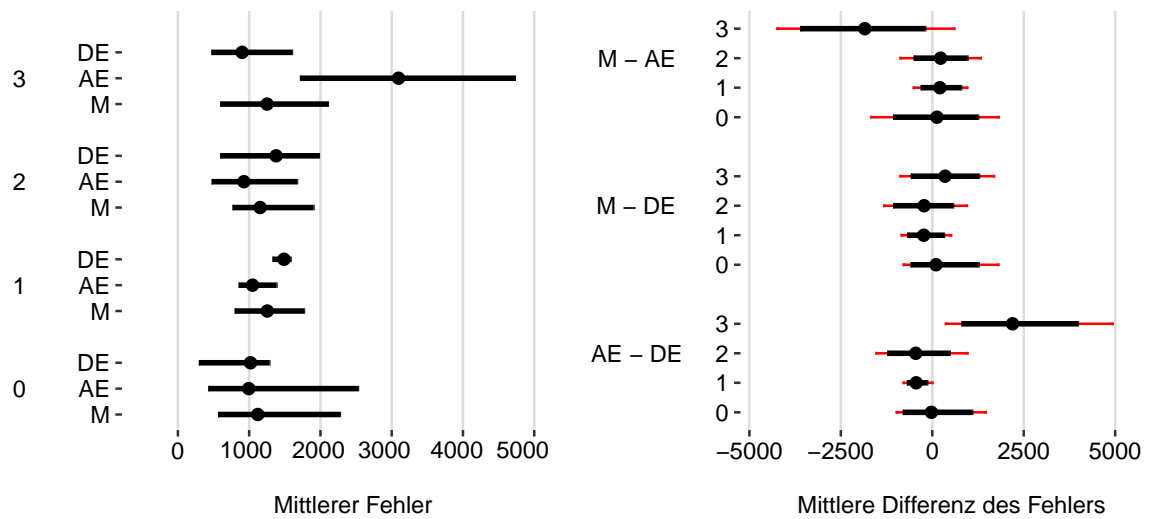


Abbildung A.28.: Konfidenzintervalle für den Fehler bei der Endpunktaufgabe

### A.1.4. Wahrgenommene Schwierigkeit

Die folgenden Abbildungen zeigen Boxplots für die subjektive Bewertung der Schwierigkeit der verschiedenen Aufgaben innerhalb der Gruppe mit der Mercator-Projektion (M), der azimutalen äquidistanten Projektion (AE) und der doppelt-äquidistanten Projektion (DE). Hierbei korrespondiert 1 zur Bewertung des Schwierigkeitsgrades als „sehr niedrig“, während 5 zur Antwort „sehr hoch“ gehört.

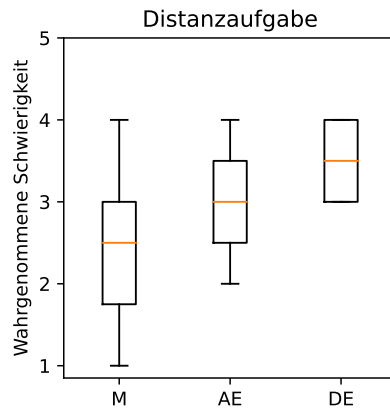


Abbildung A.29.: Schwierigkeit der Distanzaufgabe

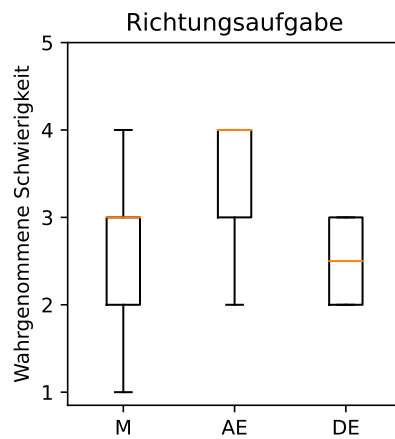


Abbildung A.30.: Schwierigkeit der Richtungsaufgabe

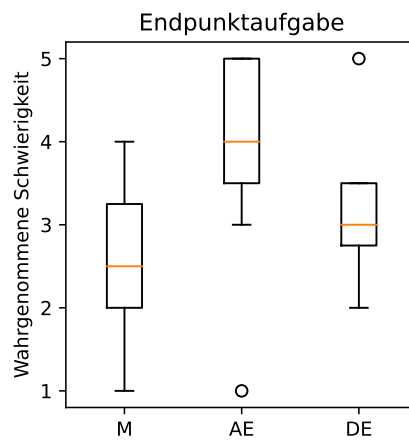


Abbildung A.31.: Schwierigkeit der Endpunktaufgabe

## A.2. Studie

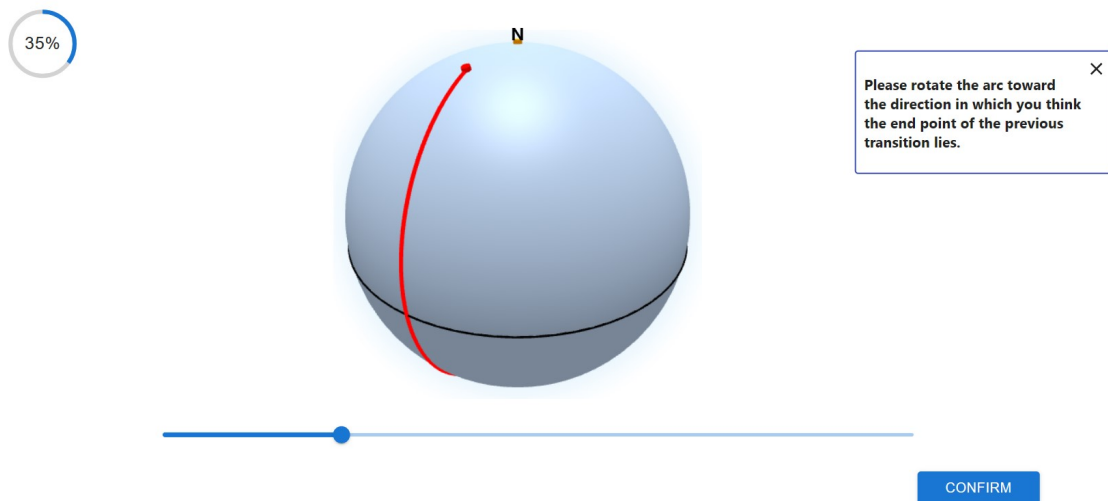


Abbildung A.32.: Richtungsaufgabe

### A.2.1. Konfidenzintervalle

Im Folgenden finden sich die Konfidenzintervalle für die Richtungsaufgabe der richtigen Studie in numerischer Form. Alle Werte sind auf 4 Nachkommastellen gerundet. Die untere Grenze des Intervalls ist je durch „u“ abgekürzt, die obere Grenze durch „o“, die Mercator-Projektion durch „M“, die azimutale äquidistante Projektion durch „AE“ und die doppelt-äquidistante Projektion durch „DE“. Die Werte für die Zeit sind jeweils in Millisekunden angegeben, die Werte für den Fehler in Grad.

**Tabelle A.1.:** Konfidenzintervalle für den Fehler

Distanz	Projektion	Mittel	u	o
0	M	19,9824	14,8126	33,04
0	AE	32,729	25,6265	42,9195
0	DE	26,7924	18,2941	42,7817
1	M	19,564	15,5823	27,5559
1	AE	24,4599	18,8262	33,6806
1	DE	25,3707	19,8879	34,3182
2	M	32,9938	26,8503	43,0888
2	AE	22,9866	18,7041	29,6846
2	DE	26,6099	22,1482	33,3308
3	M	33,1509	28,2195	40,5822
3	AE	21,7711	17,3687	27,6189
3	DE	30,7265	26,3029	37,1952

**Tabelle A.2.:** Konfidenzintervalle für die Differenz des Fehlers

Distanz	Projektionen	Mittel	u	o	u (korrigiert)	o (korrigiert)
0	AE - DE	5,9366	-9,1885	19,6577	-15,3533	24,4436
1	AE - DE	-0,9108	-10,489	8,9926	-14,0664	13,542
2	AE - DE	-3,6233	-10,8533	4,0422	-13,6487	7,6099
3	AE - DE	-8,9553	-16,2257	-1,8346	-19,2015	0,9589
0	M - DE	-6,81	-20,9256	6,7713	-26,9008	12,4824
1	M - DE	-5,8067	-14,486	2,74	-18,1675	6,0346
2	M - DE	6,3838	-2,502	16,6019	-5,5456	21,3404
3	M - DE	2,4245	-5,8081	10,3154	-9,0146	13,4035
0	M - AE	-12,7466	-23,8933	-0,6198	-27,9333	5,0759
1	M - AE	-4,8959	-13,9337	3,6172	-17,5779	7,3084
2	M - AE	10,0072	1,3005	20,0852	-2,0193	24,3509
3	M - AE	11,3798	3,7868	19,5629	0,3643	23,5066

**Tabelle A.3.:** Konfidenzintervalle für die aktive Zeit

Distanz	Projektion	Mittel	u	o
0	M	6013,282	5143,5426	7089,9097
0	AE	7055,5722	5781,1184	8758,0311
0	DE	7034,8564	5686,4051	9166,7854
1	M	6768,2989	5552,0383	8509,0494
1	AE	7450,7692	6043,7481	10056,3489
1	DE	7052,9031	5718,6218	8946,3543
2	M	6791,4048	5522,3448	8809,397
2	AE	7976,4846	6496,2227	10069,6966
2	DE	6275,804	5286,3328	7523,6875
3	M	8433,4857	6440,9344	11247,6875
3	AE	8029,241	6690,4096	10459,4608
3	DE	7631,7331	6535,7666	9435,3216

**Tabelle A.4.:** Konfidenzintervalle für die Differenz der aktiven Zeit

Distanz	Projektionen	Mittel	u	o	u (korrigiert)	o (korrigiert)
0	AE - DE	20,7158	-2381,455	2172,1159	-3408,6212	3109,5633
1	AE - DE	397,8661	-2017,2664	2924,8227	-3013,8718	4069,6783
2	AE - DE	1700,6806	-268,1998	3844,8273	-1081,7746	4859,785
3	AE - DE	397,5079	-1746,8166	2696,2863	-2739,9359	3691,6922
0	M - DE	-1021,5744	-3166,1463	801,1624	-4042,8757	1416,2206
1	M - DE	-284,6042	-2455,65	1879,851	-3397,4314	2773,5258
2	M - DE	515,6008	-1320,8677	2606,8379	-2006,7082	3408,9406
3	M - DE	801,7526	-1763,2261	3633,9823	-2943,6103	5008,162
0	M - AE	-1042,2902	-2973,7553	649,2592	-3806,3692	1376,51
1	M - AE	-682,4703	-3450,9559	1487,7269	-4791,7091	2320,0525
2	M - AE	-1185,0799	-3682,5362	1037,331	-5079,8335	2126,0664
3	M - AE	404,2447	-2570,8155	3300,1831	-3883,0635	4636,6326

**Tabelle A.5.: Konfidenzintervalle für die Gesamtzeit**

Distanz	Projektion	Mittel	u	o
0	M	8492,019	7191,4193	9967,3668
0	AE	9323,8679	7923,9969	11409,2462
0	DE	9661,34	7934,814	12301,3479
1	M	9126,0016	7568,5288	11208,7308
1	AE	9954,6154	8284,31	12919,977
1	DE	9683,9044	8018,4312	12176,6174
2	M	9005,3905	7357,969	11251,7763
2	AE	11014,8462	8966,7329	14315,0431
2	DE	8837,22	7385,7923	10936,7465
3	M	10833,2333	8526,7191	14241,6025
3	AE	10716,9889	8979,1867	13781,1962
3	DE	9818,9666	8360,2179	12241,5297

**Tabelle A.6.: Konfidenzintervalle für die Differenz der Gesamtzeit**

Distanz	Projektionen	Mittel	u	o	u (korrigiert)	o (korrigiert)
0	AE - DE	-337,4721	-3225,5314	2223,439	-4561,1181	3312,319
1	AE - DE	270,7109	-2646,3284	3258,6014	-3946,2557	4571,4226
2	AE - DE	2177,6262	-740,143	5427,2377	-1843,2907	7125,5298
3	AE - DE	898,0223	-1878,1809	3873,234	-3121,9119	5047,7352
0	M - DE	-1169,321	-3868,7189	1174,5589	-4979,4874	2238,9295
1	M - DE	-557,9029	-3289,6523	2073,6802	-4538,2053	3195,7486
2	M - DE	168,1705	-2301,2485	2835,3934	-3452,4446	3869,2531
3	M - DE	1014,2668	-2047,9197	4474,8304	-3461,5304	6034,9749
0	M - AE	-831,8489	-3180,9737	1344,9498	-4321,0443	2236,4716
1	M - AE	-828,6138	-4000,3588	1808,8726	-5433,3225	2803,087
2	M - AE	-2009,4557	-5542,1537	1029,2382	-7346,0019	2313,1009
3	M - AE	116,2444	-3424,924	3704,4511	-4797,6173	5224,6059

### **Erklärung**

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

---

Ort, Datum, Unterschrift