

Entwicklung eines Kamera-Systems zur Aufnahme von georeferenzierten Panoramavideos

BACHELORARBEIT
zur Erlangung des akademischen Grades
BACHELOR OF SCIENCE

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Geoinformatik

Autor: Matthias Mohr
Datum: 13. Oktober 2015
Betreuer: Holger Fritze, M.Sc.
Prof. Dr. Christian Kray

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ii
1 Einführung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Verwandte Arbeiten	1
2 Hintergrund	4
2.1 Anwendungsbereiche	4
2.2 Vergleich verschiedener Kameraansätze	6
2.2.1 Synchronität	7
2.2.2 Stitching	9
2.2.3 Parallaxenfehler	10
3 Entwicklung des Kamerasystems	11
3.1 Methodik	11
3.2 Spezifikation der Daten	11
3.2.1 Videodaten	12
3.2.2 Audiodaten	12
3.2.3 Metadaten	13
3.3 Auswahl der Komponenten	13
3.3.1 Videokameras	13
3.3.2 Audioaufnahmegerät	14
3.3.3 Plattform zur Steuerung und Datenaufzeichnung	15
3.3.4 Stitching-Software	15
3.4 Umsetzung des Kamerasystems	16
3.4.1 Steuerung und Datenaufzeichnung	16
3.4.2 Gehäuse	20
3.4.3 Zusammenführung der Daten	23
3.5 Verwendung des Kamerasystems	25
4 Evaluation	28
5 Fazit und Ausblick	30
Literaturverzeichnis	31
Eidesstattliche Erklärung	34
Anhang	35
A Zusätzliche Materialien	35
B LED-Statuscodes des Arduino-Mikrocontrollers	35

Abbildungsverzeichnis

2.1	Stitching: Die Ursprungsbilder	9
2.2	Stitching: Der Stitching-Prozess	9
2.3	Stitching: Das gestitchte und bearbeitete Bild	9
2.4	Beispielhafter Parallaxenfehler bei Panoramavideos	10
3.1	Kommunikation zwischen den Systemkomponenten	16
3.2	Basismodul für das Arduino-System	20
3.3	360°-Modul für fünf GoPro-Kameras im Hochformat	21
3.4	360°-Modul für vier GoPro-Kameras im Querformat	22
3.5	Kamerasystem mit allen Komponenten	23

1 Einführung

1.1 Motivation

Spätestens seit Google StreetView sind 360°-Panoramen im Alltag angekommen und für jedermann nutzbar. Doch außerhalb von StreetView und ähnlichen Angeboten sind solche Daten kaum zu finden, da Aufnahmegeräte rar, teuer und schwer zu beschaffen sind. Noch übersichtlicher wird das Angebot im Bereich 360°- bzw. Panorama-Video. Der Markt an kleinen vernetzten Weitwinkel-Kameras ist jedoch gewachsen. Die Verfügbarkeit von 3D-Druckern erlaubt es zudem, schnell und kostengünstig eigene Kamera-Halterungen zu entwickeln. Die Verbindung des Bild- und Video-Materials mit den zugehörigen Geodaten birgt Potenziale in verschiedenen Bereichen der Geoinformatik; so ergeben sich beispielsweise Einsatzmöglichkeiten in den Bereichen virtuelle Realität, Immersive Video Environments (IVE) und Navigation. Bisherige Lösungen sind für diese Zwecke nicht ausreichend, da entweder die technischen Eigenschaften - beispielsweise Auflösung und Bildwiederholfrequenz - für akzeptable Videoqualität nicht ausreichend sind oder keine ausreichenden Geodaten aggregiert werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Kamerasystems, das die einfache und vergleichsweise preisgünstige Aufnahme von Panorama-Videos erlaubt. Wichtig dabei ist die synchrone Aggregation von vollumfänglichen Geoinformationen, damit das Video zu jedem Zeitpunkt korrekt georeferenziert ist. Um im Bereich der virtuellen und augmentierten Realität eine vollständige Wahrnehmung der Videos gewährleisten zu können, sollten zudem Mehrkanal-Audio-Aufnahmen aufgezeichnet werden. Es wird hierfür eine Plattform entwickelt, die synchron die Aufzeichnung von Audio-, Video- und Metadaten, insbesondere Geodaten, erlaubt. Um die aggregierten Daten möglichst einfach zusammenführen und nutzen zu können, wird ein Software-Paket entwickelt und zusammengestellt, das dem Nutzer von der Aufnahme bis hin zum Abspielen der Videos assistiert. Der Schwerpunkt der Ausarbeitung liegt auf dem zu entwickelnden Kamerasystem und der Aufzeichnung der dazugehörigen Geodaten, da 360°-Videosysteme mit vollständigen Geodaten bisher kaum beachtet und umgesetzt wurden.

1.3 Verwandte Arbeiten

Sutherland (1968) entwickelte das erste Head-Mounted Display (HMD), welches das angezeigte Bildmaterial bei Bewegung des Nutzers entsprechend verändert. Bassett et al. (1994) haben solche Displays in kompakterer Form mit geringerem Gewicht entwickelt. Diese Entwicklungen legten u.a. die Grundlagen für heutige VR-Brillen und haben somit 360°-Videos erst realistisch erfahrbar gemacht.

Rosendahl und Dykes (1983) entwickelten ein Objektiv, das u.a. mit Hilfe von hyperbolisch geformten Spiegeln 360°-Panoramen erfassen kann. Weitere Objektivvarianten, die einen oder mehrere Spiegel für diese Zwecke nutzen, finden sich u.a. bei

Brueggemann (1965), Davis et al. (1998), Hilaire (1998), Herman und Singh (2005) und Trubko und PERI (2013). Diese Varianten erlauben in der Vertikalen größtenteils nicht die Aufnahme von 180°. Glatt (2006) beschrieb ein vollständiges Kamerasystem, insbesondere für den Außeneinsatz, das mit einem Bildsensor auskommt und ebenfalls durch die Anwendung eines speziell geformten Spiegels 360°-Videos aufzeichnen kann.

Eine Kamera mit einem oben aufliegenden 180°-Fisheye-Objektiv wird für 360°-Aufnahmen von Hemisphären von Poelstra (1996) vorgestellt. Nayar (1997) verfolgt einen ähnlichen Ansatz, setzt jedoch zwei Kameras mit Fisheye-Objektiven rückseitig aneinander, sodass die Aufnahme einer Vollsphäre möglich ist. Keast und Buford (1998) nutzten ein rotierendes Weitwinkelobjektiv, das bei min. 30 Umdrehungen pro Sekunde entsprechend ein 360°-Video mit min. 30 Frames per Second (fps) und 180° in der Vertikalen erfassen kann.

Ritchey (1992) entwickelte ein auf dem Rücken tragbares Videosystem, das durch den Einsatz mehrerer Kameras über dem Kopf des Trägers Pseudo-Panorama-Aufnahmen anfertigen und in Echtzeit auf mehreren Monitoren wiedergeben kann. Ein 360°-Video-System mit der Möglichkeit zu zoomen und einem automatischen Stitching-Prozess anhand von Transformationsgleichungen beschreiben Foote et al. (2006). Dafür, dass keine Überlappungen notwendig sind, müssen die Kameras vor der Aufnahme registriert werden. Speziell für 360°-Timelapse-Aufnahmen stellt Montgomery (2012) ein Kameracuster vor. Peng et al. (2015) stellen ein Kamerasystem auf sechs Kameras mit Weitwinkelobjektiven vor, das PC-basiert in Echtzeit 360°-Videos aufnimmt und sticht. Weitere Systeme kommerzieller Anbieter sind verfügbar. Kamerahalterungen für 360°-Videos werden beispielsweise von Freedom360¹ und 360Heroes² vertrieben. Meist werden in diesen Halterungen GoPro-Kameras genutzt, seltener andere konkurrierende Actionkameras. Gehäuse mit fest integrierten Kameras sind ebenfalls verfügbar oder in Entwicklung, wie beispielsweise publcam³, Nokia Ozo⁴ oder Sphericam2⁵. Ansätze mit nur einem Sensor finden sich ebenfalls am Markt. Einen Spiegel zur Projektion der Umgebung auf den Sensor nutzt die Kamera V.360⁶. Diverse Kameras nutzen ein 180°-Fisheye-Objektiv, um 360°-Videos mit eingeschränktem vertikalen Blickwinkel aufzunehmen; beispielhaft genannt sei die Kodak SP360⁷. Zwei rückseitig aneinanderliegende Sensoren nutzt die Ricoh Theta⁸, wodurch der vertikale Blickwinkel maximiert wird.

Bei der Nutzung eines Kameracusters zur Aggregation von 360°-Videos können verschiedene Fehler auftreten. Zur Reduktion von Parallaxenfehlern (siehe Kapitel 2.2.3) bei solchen Systemen mit mehreren Kameras stellt Foote (2007) eine Methodik vor, die solche Fehler durch Nutzung von Disparitätsschätzverfahren kompensieren soll. Zur Synchronisierung von Panorama-Videos wird von Su et al. (2014) eine Methode vorgestellt, die darauf beruht, dass in Audio- oder Videoaufnahmen ggf. die Frequenz des elektrischen Netzes zu hören bzw. zu sehen ist. Die Synchronisierung mittels eines Blitzgeräts wird von Hsieh et al. (2014) evaluiert.

Techniken zum Stitchen von Bildern sind bereits gut erforscht und ausgereift und bilden die Basis für das Stitchen von Videos. Einige dieser Arbeiten legten den Grund-

¹<http://freedom360.us/> (Abruf: 02.10.2015)

²<http://www.360heros.com/> (Abruf: 02.10.2015)

³<http://www.publcam.com/products/publcam> (Abruf: 03.10.2016)

⁴<https://ozo.nokia.com/> (Abruf: 03.10.2016)

⁵<http://www.sphericam.com/> (Abruf: 03.10.2016)

⁶<http://www.vsnmobil.com/products/v360> (Abruf: 03.10.2016)

⁷<http://kodakpixpro.com/Europe/de/cameras/actioncamera/sp360.php> (Abruf: 03.10.2015)

⁸<https://theta360.com/de/> (Abruf: 03.10.2015)

stein für freie und kommerzielle Produkte zum Stitchen von Bildern und Videos. Szeliski (2006) legte mit seiner Ausarbeitung beispielsweise die Basis für den Microsoft Image Composite Editor⁹. Alternativen dazu sind beispielsweise Kolor Autopano¹⁰ und pt-Gui¹¹. Beide sind die Grundlage für Videostitching-Software, Kolor Autopano Video¹² und VideoStitch¹³. Bildmaterial aus Weitwinkelkameras zeigen eine hohe Verzeichnung. Da dies das Stitching erschwert, stellen Ju und Kang (2010) eine Methode vor, die anhand von korrespondierenden Linien und deren Länge in den Bildern die Verzeichnung berechnet und diese Ergebnisse in den Stitchingprozess einfließen lässt.

Neng und Chambel (2010) stellen eine webbasierte Software zum Abspielen von 360°-Videos vor, die das Navigieren in Video-Pool und das Bereitstellen kontextsensitiver Informationen erlaubt. Eine Plattform zum Teilen und Navigieren in georeferenzierten 360°-Videos stellen Noronha et al. (2012) unter dem Namen „Sight Surfers“ vor. Die mit einem Smartphone aufgenommenen Geodaten dienen dazu, den Standort auf einer Karte darzustellen. Durch Hinzunahme der Daten des Kompasses können innerhalb der Videos nahe gelegene Videos referenziert werden.

⁹<http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/ice/> (Kostenlos für nicht-kommerzielle Nutzung, Lizenz: proprietär, Abruf: 24.09.2015)

¹⁰<http://www.kolor.com/autopano/> (Kostenpflichtig, Abruf: 02.10.2015)

¹¹<https://www.ptgui.com/> (Kostenpflichtig, Abruf: 02.10.2015)

¹²<http://www.kolor.com/360-videos/> (Kostenpflichtig, Abruf: 24.09.2015)

¹³<http://www.video-stitch.com/studio/> (Kostenpflichtig, Abruf: 24.09.2015)

2 Hintergrund

2.1 Anwendungsbereiche

Im folgenden Kapitel werden mögliche Szenarien beschrieben, in denen das Kamerasystem eingesetzt werden kann. Da der Schwerpunkt und das Alleinstellungsmerkmal bei diesem Kamerasystem die aggregierten Geodaten sind, werden hier überwiegend Anwendungsgebiete beschrieben, die von diesen Daten profitieren. Natürlich kann das System für weitere Zwecke genutzt werden, bei denen keine Geodaten erforderlich sind.

Generell stehen 360°-Videos in engem Zusammenhang mit virtueller und erweiterter Realität. Eine Nutzung in Immersive Video Environments bietet sich an, aber auch aktuelle Entwicklungen im Bereich der VR-Brillen eröffnen große Potenziale. Seit der Entwicklung von Google Cardboard¹⁴ ist bereits ein sehr günstiger Einstieg in den Bereich der virtuellen und erweiterten Realität, auch unter Nutzung von 360°-Videos, möglich. Dazu benötigt man beispielsweise nur ein Android-Smartphone mit der aktuellen Version der YouTube-App¹⁵.

Raumplanung, Architektur und Historik Im Bereich der erweiterten Realität lassen sich mit entsprechender Software in gefilmten Umgebungen neue Gebäude oder andere Objekte visualisieren, ohne das Video anpassen zu müssen. Durch die Geodaten lassen sich die gewünschten Objekte direkt über das Video legen und bei Bedarf direkt während der Wiedergabe anpassen. Dieses Verfahren ist flexibler, als die Daten direkt in das Video einzubinden.

Kunden eines Architekturbüros könnten sich so in lebendiger Umgebung direkt anschauen, wie das neue Gebäude aus verschiedenen Blickwinkeln aussieht. In der Raumplanung könnte Bürgern visualisiert werden, wie sich beispielsweise neue Windräder in der Umgebung auswirken. Hier sind vielfältige Möglichkeiten zur Visualisierung vorhanden, die erst durch die Geodaten entsprechend flexibel und automatisiert ausgeschöpft werden können.

Ähnlich wie in der Raumplanung und Architektur, ergeben sich Möglichkeiten zur Visualisierung im Bereich der Historik. In Videos könnten bereits zerstörte Gebäude wieder in ihrer Umgebung gezeigt werden. Das Leben der Menschen könnte dargestellt werden, so könnten in entsprechender Umgebung beispielsweise Feste oder andere Szenarien nachgestellt werden. Ogleby (2002) zeigt hier einige interessante Ansätze auf.

Tourismus Im Tourismus ergeben sich Möglichkeiten, bereits vorab Reiseziele zu erkunden. Bereits heute wird Google StreetView für die Erkundung genutzt und die Nutzung von 360°-Videos erlaubt einen noch besseren Einblick. Die Nutzer können sich eigenständig durch die verschiedenen Videos navigieren. Links zwischen den Videos können entsprechend anhand ihrer Geodaten gesetzt werden, sodass der Umweg über eine Karte nicht mehr nötig ist. Ebenfalls können nützliche Informationen an der passenden Stelle im Video eingebunden werden. Dadurch, dass die Daten nicht

¹⁴<https://www.google.com/get/cardboard/> (Abruf: 07.10.2015)

¹⁵<https://support.google.com/youtube/answer/6239930?hl=de> (Abruf: 07.10.2015)

fest in die Videos eingebunden werden müssen, kann der Nutzer während der Betrachtung wählen, welche Informationen er sehen möchte. Bei einer Stadtführung können beispielsweise Informationen zu den Sehenswürdigkeiten direkt an den entsprechenden Stellen im Video eingeblendet werden. Ein anderes Szenario wäre die Erkundung von Unterkünften bei denen direkt die Ausstattung und der Preis angezeigt werden. Für die touristische Nutzung könnten historische Gebäude eingebunden werden und so wird dann zusätzlich eine Art Zeitreise möglich. Insbesondere können solche Videos für Menschen mit eingeschränkter Mobilität hilfreich sein, die einige Orte nicht mehr selber besuchen können, da der barrierefreie Zugang fehlt. Ausführlich beschäftigt sich Hernandez et al. (2001) mit diesem Thema. Weitere Szenarien und technische Hintergründe können seiner Arbeit entnommen werden.

Bildung Moore und Gerrard (2002) nutzen eine Mischung aus verschiedensten Medien, u.a. Videos, Karten und Bilder, um eine virtuelle Lernumgebung zu erschaffen. So sollen studentische Exkursionen in der Geographie besser vor- und nachbereitet werden können. In diesem Zusammenhang wären georeferenzierte 360°-Videos ein weiterer Fortschritt. Studenten könnten sich frei umsehen und wären nicht auf die Bereiche der Videos beschränkt, die vorher ausgesucht wurden. Es ließen sich die Videos in der Karte korrekt referenzieren und der Blickwinkel grob anzeigen, was eine insgesamt bessere Übersicht über die landschaftlichen Verhältnisse aufzeigen würde. Virtuelle 360°-Modelle ließen sich ggf. durch echte Videos ersetzen, sodass hier realistischere Szenarien verfügbar würden. Weiterhin ließen sich - beispielsweise mit Hilfe von Drohnen - Videos von Szenen aufnehmen, die in einer Exkursion nicht oder nur schwer zugänglich wären. Dies ist ein exemplarisches Beispiel aus der Lehre der Geowissenschaften. Auf weitere Disziplinen kann dieser Anwendungsfall ähnlich übertragen werden.

Militär und Katastrophenschutz Das Erkunden von gefährdeten Gebieten zu militärischen Zwecken ist ein Anwendungsgebiet, das die Übertragung von 360°-Videos in Echtzeit erfordern würde. Durch die GPS- und Kompassdaten ließe sich das Fahrzeug zur Erkundung genau lokalisieren und steuern. Außerdem könnten die Daten direkt in Zusammenhang mit Kartenmaterial genutzt und eingeordnet werden. Durch den Einsatz eines solchen Systems ließe sich ein vollständiges Bild der Situation übertragen. Das Sichtfeld könnte jederzeit ohne Verzögerung verändert werden, ohne dass vorher eine Kamera geschwenkt werden muss.

Auch im Katastrophenschutz wäre eine Echtzeitübertragung zur Erfassung von Schäden nach einem Katastrophenfall hilfreich, je nach Szenario kann es allerdings ausreichen, die Daten erst verzögert zur Verfügung zu haben. Ein georeferenziertes 360°-Video eröffnet dabei die Möglichkeit, die Schäden aus allen Blickrichtungen zu betrachten und sie exakt zu lokalisieren. Wiederholte Aufnahmen würden eine zeitliche Differenzierung ermöglichen. Dabei hilft die Kenntnis der genauen Position, um die unterschiedlichen Zustände vergleichen zu können. Curtis et al. (2012) gibt eine Einführung in das Thema und zeigt Anwendungsfelder in der Wiederherstellung zerstörter Gebiete nach einer Katastrophe auf.

Produktentwicklung Die Evaluation von neu entwickelten Produkten in ihrer zukünftigen Umgebung ist in der Produktentwicklung nicht immer einfach. Um beispielsweise ein öffentliches in Münster entwickeltes Displaysystem für touristische Navigation in Rom zu testen, sind weite Distanzen zu überwinden. Eine kontinuierliche Prüfung der neuen Entwicklungen kann daher schnell unwirtschaftlich werden. Um dieses Problem

zu lösen sind 360°-Videos nützlich. Die Produkte können direkt in die Videos integriert werden und liefern einen Eindruck, wie die Displays in dieser Umgebung wirken. Mit dem IPED-Toolkit¹⁶ ist bereits eine Lösung in Entwicklung, die dieses Szenario unterstützt (Ostkamp und Kray 2014) und welches von georeferenzierten 360°-Videos profitieren könnte.

Ein anderes Feld wäre die Entwicklung von prototypischen Anwendungen im Bereich der erweiterten Realität, wie beschrieben von Kray und Ostkamp (2013). Mit Hilfe von Videos und gefälschten Standortdaten lassen sich Smartphone-Apps in einem Immersive Video Environment prüfen. Bei der genannten Arbeit sind jedoch Limitierungen im Bereich der Ausrichtung und des Blickwinkels gegeben, welche sich durch 360°-Videos möglicherweise umgehen lassen.

Neben den genannten Beispielen lassen sich auch andere Produkte durch solche Videos bereits früh in der Entwicklung günstig und realitätsnah evaluieren. Beispielhaft gezeigt wurde das von (Singh et al. 2006).

2.2 Vergleich verschiedener Kameraansätze

Für die Aufnahme von 360°-Videos gibt es verschiedene Ansätze, die je nach Anforderungen Vor- und Nachteile haben. Grundlegend gibt es zwei Ansätze, die derzeit verfolgt werden: Kamerasysteme mit einer Bildebene und Systeme mit mehreren Bildebenen (Kameracluster). Im Folgenden wird erläutert, nach welchen Ansätzen 360°-Kameras umgesetzt werden können. Sie unterscheiden sich beispielsweise im vertikalen Blickwinkel oder in der Art der Projektion. Einige der hier genannten Nachteile sind nicht zwingend technisch bedingt und könnten theoretisch in Zukunft gelöst werden. Die vorgestellten Ansätze sind jedoch verschieden weit entwickelt, sodass es hier erwähnt wird, um einen Eindruck zu ermöglichen, was derzeit möglich ist.

Die einfachste Variante besteht aus einer Kamera, gepaart mit einem Fisheye-Objektiv, das einen Blickwinkel von 180° oder mehr ermöglicht. So lassen sich 360°-Aufnahmen erzeugen, die in der Vertikalen deutlich eingeschränkt sind, da bei einem Blickwinkel von 180° nur eine Hemisphäre aufgenommen wird. Größter Nachteil ist der eingeschränkte Blickwinkel. Vorteile liegen in der Einfachheit, da im Grunde keine Nachbearbeitung nötig ist, und der vergleichsweise günstigen Anschaffung. Die meisten Hersteller bieten in ihren Kamerasystemen mit Wechselobjektiven entsprechende Fisheye-Objektive an.

Ein ähnlicher Ansatz ist die Nutzung von zwei rückseitig aneinanderliegenden Sensoren unter Verwendung von zwei Fisheye-Objektiven. Korrekt umgesetzt muss es sich demnach um ein Kameragehäuse handeln, damit die Sensoren möglichst nah aneinander liegen. Exakt ausgerichtet können die Informationen der Sensoren anschließend zusammengefügt werden.

Neben Fisheye-Objektiven gibt es Linsensysteme, die gebogene Spiegel integrieren, um einen Rundumblick zu ermöglichen. Die verschiedenen Ausführungen hier zu besprechen, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, allerdings sind übergreifend dieselben Vor- und Nachteile gegeben. Diese Architektur erlaubt einen Rundumblick; jedoch sind durch Spiegel und Kamerasensor zwei Bereiche gegeben, die nicht aufgezeichnet werden können. Es ergeben sich 360°-Videos, die je nach Spiegel einen unterschiedlich großen Bereich nicht erfassen und verzerrt sein können. Es besteht der Vorteil in der Einfachheit, da keine Nachbearbeitung nötig ist.

¹⁶<https://github.com/sitcomlab/IPED-Toolkit> (Abruf: 08.10.2015)

Generell muss konstatiert werden, dass viele Kamerasysteme mit einer Bildebene noch Defizite im Bereich der Videoaufzeichnung aufweisen. Bildqualität oder Bildfrequenz sind z.B. für eine realistische Nutzung im Bereich Virtual Reality noch nicht ausreichend oder es wird kein ausreichender Blickwinkel ermöglicht. Die verwendeten Sensoren, meist deutlich kleiner als 1 Zoll, sind für hochauflösende und qualitativ hochwertige Aufnahmen noch nicht genug fortgeschritten oder es fehlt an leistungsfähigen Prozessoren, die die Bildmenge ausreichend schnell verarbeiten können. Diese Limitierungen könnten technisch überwunden werden, jedoch stiege dann der Preis.

Alternativ bietet sich an, mehrere Kameras zu einem Kameracluster zu verbinden und das Stitching der Videos einem leistungsstarken PC zu überlassen. So lassen sich, je nach Anspruch und gewählter Kamera, vielfältige Lösungen umsetzen, nach oben sind kaum Grenzen gesetzt. Vollsphären können bei diesem Ansatz aufgenommen werden.

Sehr populär ist momentan die Kombination von Weitwinkel-Actionkameras. Es gibt verschiedenste Produkte auf dem Markt, von sehr günstigen Geräten mit eingeschränkter Auflösung und Bildfrequenz bis hin zu teureren Geräten, die hochauflösende Videos mit hoher Bildfrequenz ermöglichen. Für einige Produkte sind bereits Halterungen verfügbar, die je nach Anwendungsbereich eine unterschiedliche Anzahl an Kameras tragen können. Selbst Halterungen für 3D-360°-Videos sind verfügbar, benötigen allerdings im Vergleich zur 2D-Aufzeichnung die doppelte Anzahl an Kameras. Neben Actionkameras können auch normale DSLR-Kameras genutzt werden; die benötigte Anzahl richtet sich stark nach dem Blickwinkel des eingesetzten Objektivs. Vorteil von Kameraclustern ist die Flexibilität, da sich die Aufnahmesysteme so zusammensetzen lassen, wie es für den jeweiligen Fall benötigt wird. Die Verteilung der Aufnahme auf mehrere Sensoren, demnach also effektiv auf eine größere Sensorfläche, erlaubt im Allgemeinen hochauflösendere und qualitativ hochwertigere Aufnahmen.

Die Nutzung mehrerer Kameras zur Aufnahme von 360°-Videos führt allerdings zu einigen komplexen Eigenheiten, die im Folgenden genauer betrachtet werden.

2.2.1 Synchronität

Die Synchronisierung aller aufgenommenen Daten ist für das zusammengesetzte Endprodukt ein entscheidender Aspekt. Wenn auf den Videos beispielsweise ein Auto über den Bildrand hinaus fährt, so kann das dazu führen, dass das Auto im zusammengesetzten 360°-Video durch den Versatz zweimal auftaucht. Wenn die Aufnahmen des Audiorekorders nicht synchron zu den Videos sind, dann öffnet sich beispielsweise der Mund einer sprechenden Person zum falschen Zeitpunkt. Bei Aufnahmen, die nicht stationär sind, sollten die aggregierten Metadaten synchron zu den Videos sein. Ansonsten werden beispielsweise bei Einblendungen mit Informationen die Daten an der falschen Stelle angezeigt. Da dieses Thema für den späteren Gesamteindruck von zentraler Bedeutung ist, wird bereits hier explizit auf das Thema der Synchronität der Daten eingegangen.

Perfekte Synchronisierung zwischen einzelnen Videos ist meist nicht möglich, da die Aufnahme der Einzelbilder eines Videos eine gewisse Belichtungszeit / Aufnahmedauer benötigt, beispielsweise $\frac{1}{60}$ Sekunde. Startet nun ein Video zum Zeitpunkt 0 und ein anderes Video $\frac{1}{30}$ Sekunde später, so können die Videos bei gleicher Belichtungszeit für Einzelbilder niemals exakt synchron sein (Whitehead et al. 2005, S.1). Sollten sich die Belichtungszeiten der einzelnen Videos unterscheiden, wäre es möglich, dass einige Einzelbilder des Videos synchron wären. Jedoch wäre dies der Ausnahmefall, da sie nach einer Gruppe synchroner Einzelbilder erneut wieder auseinander liefen. Daher ist

eine perfekte Synchronisation in der Praxis selten möglich. Verringert man die Belichtungszeit, verringert sich der maximal mögliche Versatz zweier Einzelbilder. Daraus ergibt sich für die Aufnahme, dass die Reduktion der Belichtungszeit zu einer Verbesserung der Synchronität führen kann. Eine Reduktion der Belichtungszeit kann bei gleichbleibender Bildfrequenz zu einem unruhigen oder ruckeligen Gesamteindruck des Videos führen. Es ist empfehlenswert, eine hohe Bildfrequenz zu wählen, sofern es die übrigen Belichtungsparameter, Blende und Empfindlichkeit, zulassen.

Für die Synchronisierung mehrerer Videos gibt es verschiedene Ansätze. Da es meist technisch nicht möglich ist, die Kameras zum exakt gleichen Zeitpunkt zu starten, müssen in der Nachbearbeitung Verfahren angewendet werden, die aus den Daten den optimalen Punkt der Synchronität errechnen. Ein bekanntes Werkzeug zur Synchronisierung von Video- und Tonmaterial ist die Synchronklappe, auch Filmklappe genannt. Diese ermöglicht exakt das Bild, bei dem die Klappe erstmalig in der Bildsequenz vollständig geschlossen, mit dem Impuls des Schlaggeräuschs in Verbindung zu bringen. Dieses Vorgehen ist bei 360°-Videos aus mehreren Kameras nicht vollumfänglich möglich, da nicht alle Kameras in der Kamerahalterung dieselbe Synchronklappe filmen können. Da die meisten Videoaufnahmegeräte mittlerweile eigene Tonaufnahmen machen, lässt sich ein externes Tonaufnahmegerät über Tonsignale synchronisieren. Bei einigen Geräten ist es so, dass Ton- und Videospur nicht exakt synchron sind. So lässt sich maximal die Genauigkeit in der Synchronität herstellen, die das Videoaufnahmegerät von sich aus ermöglicht. In Innenräumen oder zu dunkleren Tageszeiten könnte die Synchronisierung außerdem mittels eines Blitzgeräts vorgenommen werden (Shrestha et al. 2006). Ein weiterer Ansatz ist die Synchronisierung der Videos anhand von Bewegung bzw. Drehung. Dabei werden die Kameras während der Aufnahme gedreht und in der Nachbearbeitung die Bewegungsänderungen analysiert und verglichen. Dies hat den Vorteil, dass die Synchronisierung unabhängig ist von einem möglichen Versatz zwischen Ton- und Videoaufnahme und somit vollständig aus den Bildinformationen gewonnen wird. Dieses Verfahren wurde von Kolor für Autopano Video entwickelt¹⁷, jedoch noch nicht wissenschaftlich überprüft. Ein Hindernis bei diesem Verfahren ist, dass es nicht immer möglich sein wird, die Kameras entsprechend zu bewegen.

Kabelgebundene Fernbedienungen für mehrere Kameras könnten dieses Problem noch am ehesten lösen, allerdings wären solche Fernbedienungen bei 360°-Videos kritisch, da die Kabel wahrscheinlich im Video sichtbar wären. Auch ist man damit vom Standort her nah an der Kamera, wohingegen man sich mit einer kabellosen Fernbedienung frei bewegen könnte. Solch eine kabellose Fernbedienung ist beispielsweise für GoPro-Kameras verfügbar. Diese sendet an alle Kameras zur selben Zeit ein Signal zum Starten bzw. Beenden der Aufnahme. Bedauerlicherweise geschieht die Übertragung der Daten per W-LAN-Funknetz nicht zwangsläufig parallel. So entsteht zwischen den Videos meist ein Versatz von einigen Bildern.

Ebenso verhält es sich mit der Auslösung des Arduino-Systems, da dieses ebenso per W-LAN an die Fernbedienung gekoppelt ist. Dieser verarbeitet die Daten zusätzlich mit einer geringen Verzögerung und die serielle Kommunikation mit dem externen Aufnahmegerät benötigt ebenfalls zusätzliche Zeit. Eine vollständige Synchronität ist nur in der Nachbearbeitung zu erreichen. Die nahezu parallele Auslösung erleichtert die Synchronisierung immerhin.

¹⁷http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano_Video_-_Synchronization_methods (Abruf: 26.09.2015)

2.2.2 Stitching

Bei Nutzung mehrerer Kameras werden zur selben Zeit mehrere Videos bzw. Einzelbilder aufgenommen (siehe Abbildung 2.1). Um die Einzelbilder automatisiert zusammenführen zu können, müssen diese so aufgenommen werden, dass sie sich überschneiden. Algorithmen aus dem Bereich der Bildregistrierung suchen nun in den Einzelbildern nach ähnlichen Merkmalen und versuchen so herauszufinden, wie die Bilder zusammengesetzt sind (Szeliski 2006, S. 2). Doch durch die verschiedenen Blickwinkel der Kameras lassen sich die Bilder nicht ohne Weiteres übereinander legen. Durch Bildtransformationen (siehe Abbildung 2.2) werden die Bilder nun so in ihrer Perspektive korrigiert, dass sie sich übereinander legen lassen. Für die Zusammenführung der Bilder können, je nach Software, noch diverse Parameter angepasst werden, wie beispielsweise die Projektion und optische Korrekturen (Woeste 2008, S. 36 ff.). Auch nachträgliche Bildkorrekturen wie Helligkeit oder Weißabgleich lassen sich pro Bild einstellen, um einen weicherem Übergang zu ermöglichen. Anschließend werden die Bilder zusammengefügt. Dieser gesamte Prozess nennt sich „Image Alignment and Stitching“ (Szeliski 2006, S. 1) oder kurz: Stitching.



Abbildung 2.1: Die Ursprungsbilder, die miteinander kombiniert werden sollen.



Abbildung 2.2: Die überlappenden Flächen werden gesucht und ggf. nach Anwendung von Bildtransformationen passend übereinander gelegt.



Abbildung 2.3: Das Ergebnis nach Stitching, Bildkorrektur und Beschnitt.

2.2.3 Parallaxenfehler

Parallaxenfehler können in der Panoramafotografie auftreten. Da 360°-Videos schlussendlich nur viele schnell hintereinander gezeigte Panoramaaufnahmen sind, gilt dieses Verhalten hierfür ebenso. Diese Fehler entstehen, wenn die Kamera zwischen den Aufnahmen nicht um einen bestimmten Punkt gedreht wurde, den sogenannten No-Parallax-Point (NPP) (Woeste 2008, S. 19). Dieser Punkt liegt dort, wo sich die Lichtstrahlen im Objektiv der Kamera treffen. Wenn sich die Kamera bei Panoramaaufnahmen nicht um diesen Punkt dreht, führt das dazu, dass sich die Lage zweier unterschiedlich weit von der Kamera entfernter Objekte im Raum scheinbar ändert (Woeste 2008, S. 21). In Abbildung 2.4 ist dies beispielhaft gezeigt. Zwei Videokameras stehen in einem bestimmten Winkel zueinander und wurden nicht um den No-Parallax-Point gedreht. Dies ist bei Videoaufnahmen - im Gegensatz zur Fotografie - nicht möglich, da parallele Aufnahmen für 360°-Videos nötig sind und der NPP jeweils im Objektiv der jeweiligen Kamera liegt. Vor einem bestimmten Punkt des Gebirges sieht nun die eine Kamera das Auto, die andere Kamera die Palme. Es entstehen also zwei verschiedene Bildausschnitte für diesen Bereich des Gebirges, sodass sich beim späteren Stitching in den Überlappungsbereichen der Videos wegen der unterschiedlichen Bildinhalte Probleme ergeben. Objekte sind nicht, nicht vollständig oder doppelt zu sehen. Wie man an dem Beispiel gut erkennen kann, ist dieses Problem bei kameranahen Objekten stärker ausgeprägt als bei weiter entfernten Objekten. Da das in dieser Arbeit entwickelte Kamerasystem aus mehreren Kameras besteht, sind daraus entstehende 360°-Videos anfällig für dieses Problem. Es sollte bei Aufnahmen darauf geachtet werden, dass das Kamerasystem ausreichend Distanz zu nahe gelegenen Objekten einhält oder diese Objekte nicht im Randbereich zweier Kameras aufgenommen werden.

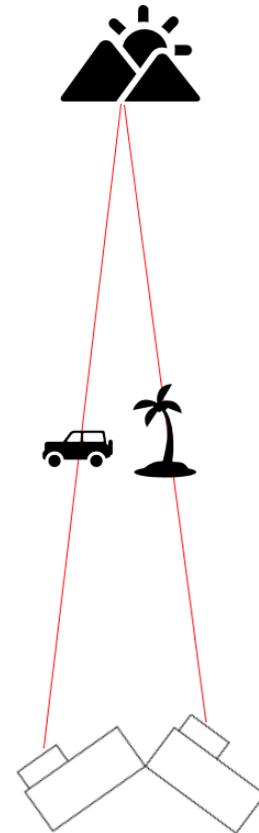


Abbildung 2.4: Beispielhafter Parallaxenfehler bei Panoramavideos

3 Entwicklung des Kamerasystems

3.1 Methodik

Im ersten Schritt dieser Arbeit wird definiert, welche Daten - getrennt in Audio-, Video- und Metadaten - für eine sinnvolle Anwendung des Kamerasystems erfasst werden müssen. Im Bereich der Metadaten liegt der Fokus auf der Geodatenerfassung. Es wird zudem sondiert, welche Systeme es bereits auf dem Markt gibt und welche Vor- und Nachteile diese Systeme mit sich bringen. Darauf basierend wird geprüft, welche Hardware nötig und verfügbar ist, um die spezifizierten Daten erfassen zu können. Es wird evaluiert, welche Konfiguration der verfügbaren Kameras für diesen Zweck das beste Ergebnis liefert.

Mit den verfügbaren Mitteln wird anschließend ein modulares Kamerasystem entwickelt, das für die Aufnahme von 360°-Videos geeignet ist. Es wird Software auf Basis der Arduino-Plattform zur Steuerung und Datenaufzeichnung entwickelt. Die Sensoren werden an die Arduino-Basisplatine gekoppelt und die Kommunikation mit einer externen Fernbedienung ermöglicht, sodass die Kopplung zum Kamerasystem besteht. Es werden zudem Lösungen zur Synchronisierung der Daten und zur Anzeige des Systemstatus implementiert. Die Kommunikation mit einem externen Audio-Aufnahmegerät wird ebenfalls ermöglicht. Für diese Einheit wird ein Gehäuse entwickelt, das mittels einer Schnittstelle einfach an verschiedene Kamerahalterungen angebracht werden kann und nicht im Blickfeld der Kameras sichtbar ist. Für die Kameras wird mindestens ein Gehäuse zur Aufnahme von 360°-Videos mit möglichst großem Blickfeld entworfen. Gleichzeitig wird darauf geachtet, dass das Stitching der einzelnen Videos möglichst problemlos möglich ist.

Es wird für dieses Kamerasystem eine Assistentenanwendung entworfen, die den Nachbereitungsprozess einer Aufnahme vereinfacht. Hierbei werden technische Möglichkeiten berücksichtigt, um eine Nachbereitung mit möglichst geringem manuellen Aufwand zu erzeugen.

Alle Entwicklungen sind prototypischen Charakters. Die Ausarbeitung wird dabei eher praxisnah geschehen.

Abschließend wird diskutiert, welcher Entwicklungsstand erreicht werden konnte und welche Vor- und Nachteile das Kamerasystem birgt.

3.2 Spezifikation der Daten

Die Aufnahme von georeferenzierten 360°-Videos hat besondere Ansprüche bzgl. der zu aggregierenden Daten. Neben den einzelnen Videos, sollte zur besseren Raumwahrnehmung ein entsprechender Raumklang wiedergegeben werden. Um die Videos im Kontext der Geoinformatik sinnvoll nutzen zu können, müssen zudem entsprechende Metadaten aufgezeichnet werden, insbesondere Daten, die den Raum- und Zeitbezug herstellen. Folgend wird aufgeführt, welche Daten im Rahmen dieser Arbeit erfasst und verarbeitet werden.

3.2.1 Videodaten

Zwar werden die Videos in der Horizontalen mit 360° und damit vollumfänglich aufgezeichnet, jedoch wird dies nicht in der Vertikalen möglich sein. Da die Steuerungseinheit und der Audiorekorder an der Halterung befestigt werden müssen, wird mindestens an einer Stelle kein sinnvolles Bildmaterial zur Verfügung stehen. Die Videoaufnahmen werden sich daher in der Vertikalen nicht über die vollen 180° erstrecken. Die effektive Auflösung der Videos sollte mindestens so hoch sein, dass die native Auflösung von 1920×1080 (1080p oder Full HD genannt) nach dem Stitching-Prozess auf Wiedergabegeräten ausgeschöpft wird, da dies u.a. in der Höhe der Auflösung des im Institut für Geoinformatik eingesetzten IVE-Systems entspricht (1280×1024 Pixel pro Projektionsfläche).

Videos bestehen aus vielen Einzelbildern. Die Anzahl der Einzelbilder pro Zeiteinheit, üblicherweise eine Sekunde, nennt man Bildfrequenz (in Hertz, im Englischen fps). Diese sollte bei mindestens 24 fps liegen. Besser wäre eine höhere Bildfrequenz, da dies das Stitching-Ergebnis positiv beeinflussen kann (siehe Kapitel 2.2.1). Zudem wird dies bei der Wiedergabe und beim Ändern des Blickwinkels ein ruhigeres Bild liefern. Es ist zu prüfen, ob eine höhere Auflösung mit geringerer Bildfrequenz oder eine geringere Auflösung mit höherer Bildfrequenz ein ausgewogeneres Ergebnis liefert.

Das Seitenverhältnis der Videos sollte so gewählt werden, dass maximal viele Informationen zur Verfügung stehen und der Blickwinkel der Videos nicht künstlich eingeschränkt wird. Kamerasensoren haben vielfach das Seitenverhältnis 3:2 oder 4:3. Videos werden allerdings häufig mit einem Seitenverhältnis von 16:9 aufgezeichnet, siehe beispielsweise die Videoformate 1080p oder 4K. Dementsprechend wird Sensorfläche nicht genutzt und eigentlich verfügbare Informationen werden nicht aufgezeichnet. Diese fehlenden Bildinformationen schränken, je nach Ausrichtung der Kamera, entweder künstlich den Blickwinkel ein oder es stehen weniger Daten im Stitching-Prozess zur Verfügung. Dies kann die Suche nach Kontrollpunkten erschweren oder unmöglich machen.

Ebenso ist es für den Stitching-Prozess wichtig, dass sich die Videos in ihren Einstellungen (Bildfrequenz, Auflösung, Belichtungsparameter, Weißabgleich) gleichen. Dies vereinfacht das Zusammenführen der verschiedenen Videos und gibt ein homogeneres 360° -Video.

3.2.2 Audiodaten

Im Gegensatz zur visuellen Raumwahrnehmung, nimmt der Mensch den Raum akustisch ganzheitlich wahr (Silverthorn 2009, S. 502). Der Ton hilft uns, mögliche Dinge, die wir sonst nicht wahrnehmen würden, zu erkennen. Auch können wir anhand einer exakten Tonwiedergabe genauere Informationen erlangen, wie die Quelle, die Richtung und die Entfernung (Jacobson et al. 2002, S. 386 f.). Um zu einer guten Raumwahrnehmung beizutragen, ist es wichtig, den Ton aus vielen Richtungen, d.h. mit vielen Kanälen, wiederzugeben. Eine Möglichkeit Mehrkanalton aufzuzeichnen ist für das Kamerasystem zu berücksichtigen. Denkbar wäre die Kombination der Audioaufnahmen aller Kameras oder aber die Nutzung eines externen Aufnahme geräts, das Mehrkanalton unterstützt.

3.2.3 Metadaten

Neben den Audio- und Videodaten sollen für den Einsatz im Umfeld der Geoinformatik Metadaten gesammelt werden, die einen Raum-Zeit-Bezug des Videos herstellen. Neben einer exakten Zeitangabe, d.h. inkl. Angabe der Millisekunden zur exakten Referenzierung der Einzelbilder, sind nach Zimmermann et al. (2013) noch folgende Geodaten nötig, um ein Video vollständig georeferenzieren zu können:

1. Die Kameraposition mit Längen- und Breitengrad, sowie die Höhe, ausgelesen von einem GPS-Empfänger. Empfänger alternativer Positionierungssysteme, beispielsweise GLONASS, sind ebenfalls möglich.
2. Die Ausrichtung bzw. Blickrichtung der Kameras, ausgelesen an einem Kompass. Dabei beziehen sich diese Daten auf das Zentrum des Videos.
3. Die maximal sichtbare Distanz, bei der Objekte erkannt werden können. Diese ergibt sich aus der Kameraauflösung.
4. Das Sichtfeld, welches sich aus der Brennweite der Kameraobjektive ergibt, jedoch später im Stitching-Prozess noch weiter eingeschränkt wird.

Aus diesen Daten lassen sich noch Weitere ableiten, die für nicht-stationäre Szenarien interessant sein können, wie die Bewegungsrichtung oder die Bewegungsgeschwindigkeit.

Bestenfalls können jedem Einzelbild eines Videos alle Metadaten zugeordnet werden. Beschränkt wird dies durch die Auslesefrequenz der Sensoren, sodass ggf. Daten für mehrere Bilder genutzt werden müssen. Jedes Einzelbild sollte mit den zeitlich nächstgelegenen Sensordaten verknüpft werden. Bei Bedarf, z.B. bei Verlust des GPS-Signals, können die Daten interpoliert werden.

3.3 Auswahl der Komponenten

Dem Institut stehen bereits einige Geräte zur Verfügung, deren Verwendung aus Kostengründen ggf. vorzuziehen ist. Im Folgenden wird eine Bestandsaufnahme gemacht und anschließend diskutiert, welche für diese Arbeit verwendet werden können.

3.3.1 Videokameras

Das eingesetzte IVE-System besteht aus drei Projektionsflächen. Für die Videoaufnahmen werden bisher dementsprechend drei DSLR-Kameras des Typs Canon EOS 550D¹⁸, jeweils mit dem Objektiv Canon EF-S 18-55mm 1:3.5-5.6 IS¹⁹, verwendet. Der technischen Spezifikation des Herstellers entsprechend, ermöglicht diese Kombination einen maximalen horizontalen Blickwinkel von 64,5° und einen maximalen vertikalen Blickwinkel von 45,5°. Diese Blickwinkel werden bei der kürzesten Brennweite von 18mm erreicht. Bei drei Kameras sind, ohne Überlappung der Bildbereiche, bisher Aufnahmen mit maximal 193,5° möglich. Um 360°-Videos aufnehmen zu können sind demnach mindestens sechs Kameras nötig. Da zum automatischen Stitchen der Bilder bzw. Videos Überlappungsflächen nötig sind, müssten noch weitere Kameras verfügbar sein. Die

¹⁸Technische Spezifikationen: http://www.canon.de/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_550d/ (Abruf: 30.09.2015)

¹⁹Technische Spezifikationen: http://www.canon.de/for_home/product_finder/cameras/ef_lenses/ef-s/ef-s_18-55mm_f3.5-5.6_is/ (Abruf: 30.09.2015)

Anzahl der weiteren Kameras hängt dabei von der gewünschten und nötigen Größe der Überlappungen ab. Hierbei muss noch beachtet werden, dass der vertikale Blickwinkel von $45,5^\circ$ sehr gering ist. Die DSLR-Kameras sind mit dem Objektiv zusammen relativ groß ($12,9 \times 9,7 \times 13,2$ cm) und schwer (730 g), sodass sie sich zusammen nur relativ schwer halten lassen. Ein sehr stabiles Stativ mit einer entsprechend stabilen Halterung wäre nötig, um alle Kameras zu halten. Die maximale Auflösung zur Videoaufnahme beträgt 1080p bei 29,97 fps.

Neben den Canon-DSLR-Kameras stehen neuerdings fünf Weitwinkel-Kameras, GoPro Hero4 Black²⁰, zur Verfügung, die für diesen Zweck noch nicht verwendet wurden. Das fest verbaute Fish-Eye-Objektiv ermöglicht in einem Aufnahmemodus mit dem Seitenverhältnis 4:3 in der Horizontalen einen Blickwinkel von $122,6^\circ$ und in der Vertikalen von $94,4^\circ$ ²¹. Werden die Kameras hochkant in einem Winkel von 72° nebeneinander ausgerichtet, so können horizontal 360° -Videos aufgenommen werden, bei denen pro Kamera noch $22,4^\circ$ (etwa 24% der Aufnahmebreite, d.h. 12% an den Bildrändern) für die Überlappung zur Verfügung stünden. In der Vertikalen steht maximal ein Blickwinkel von $122,6^\circ$ zur Verfügung. Andere Varianten, beispielsweise vier im Querformat ausgerichtete Kameras mit einer Kamera nach oben, sind ebenfalls denkbar.

Hilfreich für den Einsatz der GoPro-Kameras ist die separat erhältliche W-LAN-Fernbedienung, die alle Kameras nahezu parallel auslösen kann. Der Formfaktor der GoPro-Gehäuse erleichtert zudem die Integration in ein Gehäuse. Die Kameras sind, abgesehen vom Objektiv, quaderförmig und relativ klein ($5,8 \times 4,1 \times 3$ cm), sowie vergleichsweise leicht (89 g). Die GoPro Hero4 Black ermöglicht u.a. Videoaufnahmen in 4K (bis zu 30 fps), 2,7K (bis zu 60 fps), 1440p (bis zu 80 fps) und 1080p (bis zu 120 fps).

Aufgrund des verfügbaren Materials, sowie der Vorteile bzgl. Formfaktor, Videomodus, Blickwinkel und Fernauslösung, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Lösung mit GoPro Hero4 Black-Kameras entwickelt.

3.3.2 Audioaufnahmegerät

Nahezu jedes Kamerasystem, das Videos aufnehmen kann, hat ein Mikrofon zur Aufnahme von Ton integriert. Erfahrungsgemäß sind diese Mikrofone aber selten hochwertig und häufig nicht gut gegen Störgeräusche, wie beispielsweise Wind, abgeschirmt. Zudem könnten sie bei ungünstiger Lage von der zu entwickelnden Halterung verdeckt werden. Beim Einsatz mehrerer Kameras hätte man theoretisch mehrere Aufnahmekanäle zur Verfügung, jedoch ist unklar, ob diese zusammengeführt wirklich geeignet sind, um Mehrkanalton zu erzeugen.

Für Audioaufnahmen kann es von Vorteil sein, wenn ein eigenständiges Gerät zur Aufnahme von Mehrkanalton verwendet wird. Es steht dem Institut für Geoinformatik ein portabler Audiorekorder Zoom H2n zur Verfügung. Das Gerät ermöglicht Aufnahmen mit bis zu vier Kanälen. Außerdem ist es möglich, Aufnahmen mit einer Fernbedienung zu starten bzw. zu beenden. Daher soll das Zoom H2n in das Kamerasystem

²⁰Technische Spezifikationen: <http://de.shop.gopro.com/hero4/hero4-black/CHDX-401.html> (Abruf: 30.09.2015)

²¹GoPro stellt keine technischen Spezifikationen zum Objektiv zur Verfügung. Eigene Messungen legen den Schluss nahe, dass die GoPro Hero3+ Black und die Hero4 Black mindestens ein sehr ähnliches Objektiv nutzen. Daher nutzen wir hier und folgend die Daten zur GoPro Hero3+ Black, die verfügbar sind unter <https://de.gopro.com/support/articles/hero3-field-of-view-fov-information> (Abruf: 30.09.2015).

integriert werden. Die Integration sollte so vorgenommen werden, dass das Kamerasystem ohne diese Komponente funktionsfähig bleibt.

3.3.3 Plattform zur Steuerung und Datenaufzeichnung

Die zentrale Einheit zur Steuerung des gesamten Systems und für die Aufzeichnung der Metadaten, folgend Arduino-System genannt, muss fix an den Kameras positioniert werden, damit die GPS-Position und die Ausrichtung korrekt aufgezeichnet werden können. Diese Komponente soll nach Möglichkeit nicht auf den Videos zu sehen sein. Eine geringe Größe und eine drahtlose Nutzung ist erstrebenswert. Für die Arduino-Plattform sind zudem viele Komponenten zur Erweiterung verfügbar. So ist die Integration eines GPS-Empfängers und eines Kompasses möglich. Es stehen zudem Komponenten zur kabellosen Kommunikation zur Verfügung. Dem Institut stehen aus anderen Projekten bereits einige Komponenten zur Entwicklung auf Basis der Arduino-Plattform zur Verfügung. Da die Arduino-Plattform bereits in anderen Projekten des Instituts verwendet wird, sind bereits Komponenten verfügbar und das vorhandene Wissen erleichtert nach dieser Bachelorarbeit die Weiterentwicklung durch Institutsmitarbeiter. Daher bietet sich eine Entwicklung auf der Arduino-Plattform an.

3.3.4 Stitching-Software

Software zum Stitchen der Videos wurde bisher nicht verwendet. Die bisherigen Kombinationen aus Kameras und Objektiven liefern rectilineare Videos, die bei korrekter Ausrichtung bei der Aufnahme problemlos nebeneinander auf den einzelnen Projektionsflächen abgespielt werden können. Dieses Verfahren ist speziell auf das IVE des Instituts ausgelegt. In dieser Arbeit soll jedoch eine Lösung erarbeitet werden, die sich nicht nur auf die Wiedergabe auf dem IVE beschränkt. Bei 360°-Videos, die nicht zwangsläufig auf einem dreigeteilten Präsentationsmedium wiedergegeben werden, eignet sich dieser Ansatz prinzipiell nicht. Daher muss eine Möglichkeit geschaffen werden, die einzelnen Videos der GoPro-Kameras zu einem einzigen 360° umfassenden Video zu verschmelzen. Auf den ersten Blick erscheint es kostengünstig, die Videos in Einzelbilder zu trennen und diese entsprechend zu verarbeiten und zusammenzufügen, da hier kostenlose Software, wie beispielsweise *hugin*²² oder *Microsoft Image Composite Editor*⁹, zur Verfügung steht. Im Anschluss könnten die verarbeiteten Einzelbilder wieder zu einem Video zusammengefügt werden. Dieses Verfahren wäre aufwändig, sodass diese Lösung unter Berücksichtigung der Kosten für Arbeitsstunden auf lange Sicht effektiv teurer sein dürfte als einmalig bezahlte Software. Diesen Ansatz verfolgt *ptGui*¹¹ ebenfalls, welches ein kostenpflichtiges Programm zum Stitchen von Bildern ist, jedoch eine Stapelverarbeitung mitbringt. Es automatisiert die Arbeit mit den Einzelbildern größtenteils. Die Nutzung ist recht schwer zu erlernen und wenig intuitiv. Es ist beispielsweise keine automatisierte Synchronisierung der Videos möglich. Der Prozess ist zudem vergleichsweise arbeitsintensiv²³. Naheliegender ist der Einsatz von *Kolor Autopano Video*¹² (benötigt *Kolor Autopano Pro*¹⁰), da *Kolor* kürzlich von *GoPro* übernommen wurde und bereits Vorlagen für die Arbeit mit *GoPro*-Kameras anbietet. Zudem ist der Umgang mit der Software vergleichsweise einfach zu erlernen und sie bietet eine breite Anzahl an hilfreichen Funktionen. Eine Alternative in diesem Segment ist *VideoStitch Studio*¹³. *VideoStitch Studio* hat sehr hohe Hardwareanforderungen,

²²<http://hugin.sourceforge.net/> (Kostenlos, Lizenz: GNU GPL v2, Abruf: 24.09.2015)

²³<http://freedom360.us/360-video-stitching-ptgui/>

die von den verfügbaren Rechnern nicht erfüllt werden. Aus den genannten Gründen bietet sich die Arbeit mit Kolor Autopano Video an.

3.4 Umsetzung des Kamerasystems

Nach der Auswahl der Systemkomponenten kann auf Basis ebendieser das Kamerasystem entwickelt werden. Zuerst wird die Software für das Arduino-System entwickelt, damit für das anschließend zu modellierende Gehäuse die Maße und Schnittstellen bekannt sind. Auf dieser Grundlage und der Spezifikationen der Kameras wird anschließend ein prototypisches modulares Gehäuse entwickelt und mit einem 3D-Drucker angefertigt, das alle Komponenten miteinander vereint. Die grundlegende Idee (siehe Abbildung 3.1) ist, die GoPro-Kameras mit einer kabellosen Fernbedienung synchron auszulösen. Das Arduino-System soll sich dabei als Pseudo-Kamera an der Fernbedienung anmelden und somit ebenfalls synchron gestartet werden. Ebenfalls startet es die Datenaufzeichnung und ggf. den Audiorekorder, da dieser keine kabellose Schnittstelle bereitstellt.

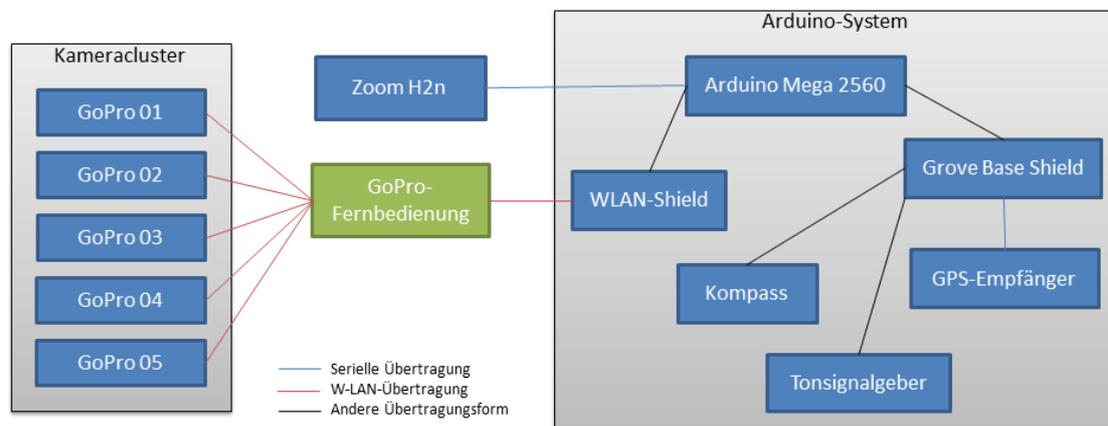


Abbildung 3.1: Kommunikation zwischen den Systemkomponenten

3.4.1 Steuerung und Datenaufzeichnung

Auf Basis der Arduino-Plattform soll eine Komponente entwickelt werden, die die nötigen Metadaten (siehe Kapitel 3.2.3) während der Aufzeichnung speichert und zudem den ggf. angeschlossenen Audiorekorder startet und stoppt.

Komponenten Für die Arduino-Plattform gibt es verschiedene Arduino-Basisplatten, die sich in der Anzahl der Anschlüsse, der Speichergröße und der Rechenleistung unterscheiden. Als Basis für die Entwicklung wurde im Laufe der Entwicklung eine zum Arduino Mega 2560 R3 kompatible Basisplatte²⁴ gewählt. Varianten mit geringerem Speicherplatz sind bei diesem Projekt schnell an ihre Grenzen gestoßen. Die Anzahl der seriellen Anschlüsse beim Arduino Mega sprachen zusätzlich für diese Variante. Auf diese Basisplatte lassen sich verschiedenste Komponenten, sogenannte Shields,

²⁴SainSmart MEGA2560 R3 Development Board, Informationen abrufbar unter <http://www.sainsmart.com/sainsmart-mega2560-r3-development-board-compatible-with-arduino-mega2560-r3.html> (Abruf: 29.09.2015)

aufstecken. Die Arduino-Basisplatine wurde um zwei Shields erweitert. Bei dem ersten Shield handelt es sich um ein Grove-Base-Shield v1.3²⁵, der den Anschluss von verschiedenen Grove-Modulen erlaubt, darunter viele Sensoren und Ein- und Ausgabegeräte. Der zweite Shield²⁶ erlaubt die WLAN-Kommunikation und hat zudem einen Steckplatz für microSD-Speicherkarten, auf welchen die Metadaten gespeichert werden sollen.

Der Grove-Base-Shield ist zur Erfassung der Geodaten mit einem GPS-Empfänger²⁷ und einem 3-Achsen-Kompass²⁸ bestückt worden. Damit lassen sich die notwendigen Geodaten messen und speichern. Das GPS-Gerät stellt die Position mit Längen- und Breitengrad, sowie die Höhe über NN zur Verfügung. Außerdem wird die aktuelle Zeit der jeweiligen Messung gespeichert. Vom GPS-Chip werden ebenfalls aus mehreren Datensätzen errechnete Daten zur Verfügung gestellt, wie die Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung. Der Kompass gibt die Ausrichtung bzw. die Blickrichtung an. Dazu muss der Kompass im Gehäuse entsprechend ausgerichtet und fixiert werden, sodass der Bezug zu den Kameras bzw. den aufgenommenen Videos eindeutig ist.

Um eine Synchronisierung der Komponenten zu gewährleisten, wurde zudem ein Signaltonger an den Grove-Base-Shield angeschlossen. So lassen sich über einen Tonimpuls sowohl Audio- als auch Videoaufzeichnungen synchronisieren (siehe Kapitel 2.2.1).

Um dem Benutzer des Systems einen Überblick über den Status der verschiedenen Komponenten des Arduino-Systems zu ermöglichen, wurde zudem eine Komponente mit mehreren LEDs an das Grove-Base-Shield angeschlossen.

Direkt an der Arduino-Basisplatine wurde das Verbindungskabel für das Zoom H2n angeschlossen.

Hinweise zur Implementierung Die Implementierung folgt, soweit es die Arduino-Plattform erlaubt, objektorientierten Paradigmen. Die einzelnen Komponenten werden in jeweils eigenen Klassen behandelt, sodass mit vergleichsweise geringem Aufwand neue Komponenten eingefügt oder bestehende verändert werden können.

Die Messung der Daten des GPS-Empfängers und des Kompasses wurde so implementiert, dass während einer Aufnahme maximal alle 200 ms ein Datensatz abgerufen wird. Daten werden nur geschrieben, wenn neue Daten zur Verfügung stehen. Der Kompass liest zusätzlich von der SD-Karte einen Korrekturwert, die magnetische Deklination, um die Messergebnisse zu präzisieren. Es handelt sich dabei um den Winkel zwischen geographischem und magnetischem Norden, der abhängig ist vom Standort und angepasst werden muss (Nelson et al. 1962, S. 5). Sollte auf der SD-Karte kein Wert für die magnetische Deklination gefunden werden, so wird standardmäßig der Wert für die Adresse *Heisenbergstraße 2, Münster, Deutschland* verwendet, da es sich um die Adresse des Instituts für Geoinformatik handelt, welches dieses Gerät primär nutzt.

Um die Daten möglichst schnell verarbeiten zu können und wegen der begrenzten Speicherkapazität des Arduino-Mikrocontrollers, werden die Metadaten lediglich im kompakten CSV-Dateiformat abgespeichert. Falls keine aktuellen Daten zur Verfügung stehen, werden keine Daten geschrieben. Falls nur einer der Sensoren aktuelle Daten zur Verfügung hat, werden nur diese geschrieben und alle anderen ausgelassen. Alte

²⁵http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_Base_Shield (Abruf: 25.09.2015)

²⁶Adafruit CC3000 WiFi Shield with uFL Connector for Ext Antenna,
<https://www.adafruit.com/products/1534> (Abruf: 28.09.2015)

²⁷http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_GPS (Abruf: 25.09.2015)

²⁸http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_3-Axis_Digital_Compass (Abruf: 25.09.2015)

Daten werden nicht wiederholt geschrieben. Folgende Informationen werden in dieser Reihenfolge pro Zeile in die CSV-Datei geschrieben:

1. Verstrichene Zeit seit dem Programmstart in Millisekunden
2. UTC-Zeitstempel gemäß ISO 8601
3. Geographische Breite in Grad
4. Geographische Länge in Grad
5. Höhe in Metern
6. Bewegungsgeschwindigkeit in Knoten
7. Bewegungsrichtung im Bogenmaß
8. Blickrichtung des Zentrums von Kamera 1 im Bogenmaß
9. Synchronisierungspunkte

Die verstrichenen Millisekunden werden gespeichert, damit bei temporär fehlendem GPS-Signal die fehlenden Zeiten berechnet werden können. Zudem wird damit bei gänzlich fehlendem GPS-Signal, beispielsweise in Gebäuden, eine korrekte Zuordnung zum Video anhand der Synchronisierungspunkte ermöglicht. Die Spalte der Synchronisierungspunkte wird zu Beginn bzw. zum Ende der Aufzeichnung auf 1 bzw. 2 gesetzt, sobald das Tonsignal zur Synchronisierung abgespielt wird. Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit sind bei stationären Aufnahmen irrelevant.

Das Arduino-Framework unterstützt nativ keine Threads, ist also nicht in der Lage, Befehle parallel auszuführen. Stattdessen werden alle Befehle, nach einer einmaligen Initialisierungsphase, nacheinander in einer Endlosschleife ausgeführt. Dies musste bei der Implementierung berücksichtigt werden, damit insbesondere längere Prozesse²⁹ nicht die periodischen Messungen unterbrechen. Bei der Implementierung wurde darauf geachtet, dass nach Möglichkeit während der Aufnahme nur wenige oder nur kurze blockierende Prozesse ausgeführt werden. Dies kann dazu führen, dass während einer Aufnahme eine abgebrochene W-LAN-Verbindung nicht wieder aufgebaut werden kann und somit die Aufzeichnung nicht durch die Fernbedienung beendet würde. Ein weiterer Nebeneffekt der nicht-parallelen Ausführung kann bei den blinkenden LEDs oder dem Signaltonger beobachtet werden. Es kann hier durch längere Prozesse zu Verzögerungen kommen, sodass das Blinken nicht regelmäßig ist oder die Tonsignale länger oder kürzer abgespielt werden als ursprünglich geplant. Dies resultiert daraus, dass beide während des Durchlaufs der Endlosschleife immer wieder durch den Vergleich von Zeitstempeln prüfen, ob eine Statusänderung vorgenommen werden muss. Wenn nun allerdings ein anderer Prozess länger arbeitet, so kann diese Statusänderung erst später durchgeführt werden. Eine exakte Ausführung wäre nur mit erzwungenen Pausen im Programmablauf möglich, dies würde jedoch bei einer dauerhaft blinkenden LED keine weiteren Prozesse zulassen.

Die Ansteuerung des Zoom H2n und die Kommunikation mit der W-LAN-Fernbedienung der GoPro-Kameras war besonders aufwändig, da die Protokolle von den jeweiligen Herstellerfirmen unter Verschluss gehalten werden. So mussten diese Protokolle per Reverse Engineering entschlüsselt werden.

²⁹Als extremes Beispiel sei hier das Aufbauen einer W-LAN-Verbindung genannt, was inkl. Suchlauf min. 5 Sekunden dauert. Alle anderen blockierenden Prozesse benötigen im Regelfall deutlich weniger als eine Sekunde.

Grundlagen wurden für das Zoom H4n bereits von Marcus Wolschon³⁰ erarbeitet und darauf basierend von Andreas Mehler³¹ vertieft. Da die Protokolle des Zoom H4n und des Zoom H2n teilweise zueinander kompatibel sind, konnten Erkenntnisse daraus als Basis für das Zoom H2n übernommen werden. Es handelt sich um das serielle Protokoll RS232 mit der Geschwindigkeit von 2400 Baud (8-N-1) unter Verwendung von 3,3 Volt. Die Daten werden über einen 2,5mm-Klinke-Anschluss übertragen. Zu Beginn der Verbindung muss ein Handshake zwischen dem Arduino-System und dem Zoom H2n durchgeführt werden. Anschließend kann mittels der selben Bitsequenz die Aufnahme gestartet bzw. gestoppt werden. Statt eines Zoom H2n kann ein Zoom H4n angeschlossen werden, weitere Geräte wurden nicht auf Kompatibilität geprüft.

Die Kommunikation mit der GoPro-Fernbedienung wurde ebenfalls teilweise entschlüsselt³², sodass diese Informationen als Grundlage für eine weitere Entschlüsselung genutzt werden konnten. Die Fernbedienung baut ein ungesichertes W-LAN-Netz auf, zu dem sich die Kameras verbinden können. Die SSID des Netzes³³ wird im normalen Betrieb versteckt und ausschließlich dann öffentlich sichtbar geschaltet, wenn sich die Fernbedienung im Pairing-Modus befindet. Die SSID ändert sich bei gleichbleibender Fernbedienung nicht, sodass diese gespeichert und für den nächsten Verbindungsversuch wiederverwendet werden kann. Die Fernbedienung unterstützt das Internet-Protokoll in Version 4 (IPv4) und kann mittels eines Broadcasts an alle verbundenen Geräte gleichzeitig Informationen senden. Die Daten selber werden via UDP-Protokoll versendet. Die Fernbedienung sendet so in gewissen Zeitabständen oder bei Bedarf Befehle an eine oder alle Kameras, auf die diese jeweils antworten. Das Arduino-System versucht dabei, das Verhalten der Kameras bestmöglich zu emulieren. Gänzlich kann das Protokoll wegen technischer Limitierungen, insbesondere der geringen Buffer-Größe des Wifi-Shields, nicht implementiert werden.

Funktionsweise Sobald das Arduino-System an die Stromzufuhr angeschlossen wurde, beginnt eine einmalige Initialisierungssequenz, in der alle Komponenten für den Einsatz vorbereitet werden. Die rote LED ist nun angeschaltet, um zu signalisieren, dass das Gerät mit Strom versorgt wird. Es wird nun beispielsweise geprüft, ob eine Speicherkarte vorhanden und beschreibbar ist. Außerdem wird die magnetische Deklination von der Speicherkarte gelesen und an den Kompass übergeben, der nun bereit ist, Daten zu liefern.

Anschließend beginnt die Endlosschleife, die die primären Aufgaben ausführt. Das Arduino-System versucht nun zuerst, eine W-LAN-Verbindung zur Fernbedienung aufzubauen und beginnt mit der Suche nach GPS-Satelliten. Dies ist ein dauerhafter Prozess, sodass bei Verlust eines der Signale diese möglichst schnell wiederhergestellt wird. Sollte das Zoom H2n angeschlossen sein, wird der Handshake durchgeführt. Der Status der Vorgänge bzw. Komponenten wird dauerhaft durch LED-Statuscodes signalisiert, siehe Tabelle 1 auf Seite 36. Sobald alle für die Aufnahme wichtigen Parameter in Ordnung sind, leuchtet neben der roten Lampe eine gelbe Lampe auf. Diese signalisiert, dass das System bereit ist, eine Aufnahme zu starten. Es kann bei bestehender W-LAN-Verbindung schon früher eine Aufnahme gestartet werden, jedoch kann dies

³⁰<http://marcuswolschon.blogspot.de/2012/04/easterhegg-basel-2012.html> (Abruf: 28.09.2015)

³¹<http://www.apm-motionpictures.de/de/h4ncontrol> (Abruf: 28.09.2015)

³²<https://github.com/theContentMint/GoProRemote> (Abruf: 28.09.2015)

³³Die Name des W-Lan-Netzes, kurz SSID, beginnt mit HERO-RC- und endet mit einer eindeutigen Kennung bestehend aus Großbuchstaben und Zahlen.

zu unvollständigen oder gänzlich fehlenden Daten führen. Der externe Audiorekorder ist dabei eine optionale Komponente, die das Arduino-System nicht weiter beeinflusst, sollte sie fehlen.

Sobald ein W-LAN-Signal besteht, kann über die Fernbedienung eine Aufnahme gestartet werden. Sobald das Arduino-System das Aufnahme-Signal erhalten hat, wird die Datenaufzeichnung gestartet und ggf. der angeschlossene externe Audiorekorder gestartet. Es wird zudem mit kurzer Verzögerung für etwa zwei Sekunden ein Tonsignal zur Synchronisierung der Komponenten gesendet (siehe Kapitel 2.2.1). Neben der gelben Status-LED blinkt nun eine grüne LED, die eine laufende Aufnahme signalisiert. Die anderen Status-LED werden durchgehend aktualisiert, sodass Probleme direkt festgestellt werden können. Es werden nun fortlaufend die Messdaten in eine neue durchnummerierte Datei auf der SD-Karte geschrieben.

Sollte das Arduino-System das Signal zum Beenden der Aufnahme erhalten, so wird erneut ein Tonsignal zur Bestätigung abgespielt und die Datei mit den Messungen geschlossen. Die grün blinkende Aufnahme-LED erlischt und der Audiorekorder wird ggf. gestoppt. Es kann direkt eine weitere Aufnahme gestartet werden.

3.4.2 Gehäuse

Um alle Komponenten des Kamerasystems gebündelt auf einem Stativ befestigen zu können, wurde ein modulares Gehäuse entwickelt.

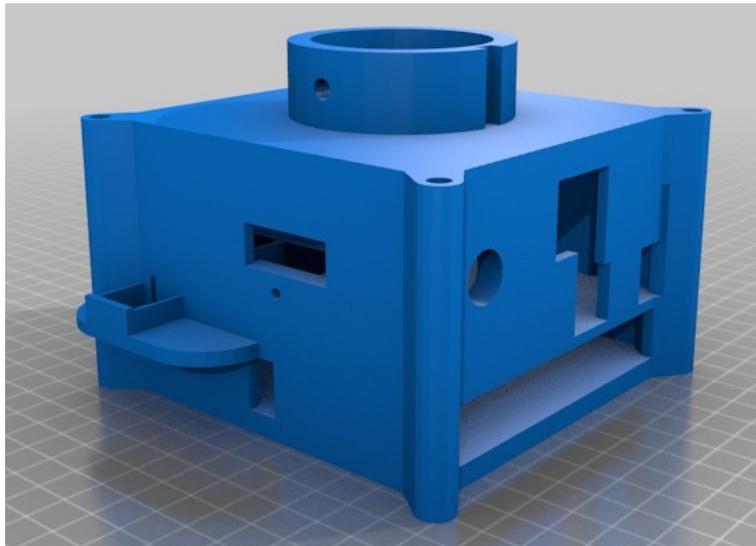


Abbildung 3.2: Basismodul für das Arduino-System

Das Basismodul (siehe Abbildung 3.2) wurde passend für das Arduino-System entworfen. Auf der Vorderseite können USB-Port, Stromzufuhr und SD-Karte erreicht werden. Zudem wurde dort der Signaltongebner integriert. Linksseitig befinden sich die Status-LEDs, sowie die GPS-Antenne und eine Dosenlibelle, um das Gehäuse auf eine optimale horizontale Ausrichtung zu prüfen. Auf der rechten Seite des Gehäuses befindet sich die W-LAN-Antenne und eine Öffnung zum Betätigen des Reset-Schalters. Im Inneren befindet sich eine Vorrichtung, um den Kompass auszurichten und zu befestigen. Unterhalb des Arduino-Gehäuses befindet sich ein Schacht, um beispielsweise einen Akku unterzubringen. Dort kann beispielsweise zudem die GoPro-Fernbedienung transportiert werden. Um die dort untergebrachten Teile vor dem Herausfallen zu schützen, gibt es eine verschieb- und herausnehmbare Wand. Mittig ist noch die Möglichkeit

gegeben, über eine $\frac{1}{4}$ -Zollschraube den Anschluss zu einem handelsüblichen Stativ herzustellen. Oberhalb des Arduino-Gehäuses befindet sich die Modul-Schnittstelle für Kameramodule.

Kameramodule können auf das Basismodul aufgesetzt werden. Diese können je nach Anforderung entwickelt werden. Die modulare Architektur erlaubt, verschiedenste Kamera-Konfigurationen zu nutzen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Kameramodule entwickelt. Die Kameramodule können durch eine lange DIN-M5-Gewindeschraube mit entsprechenden Muttern schnell und ohne Werkzeug am Basismodul befestigt werden. Damit die Kameras korrekt ausgerichtet sind, hat die Modul-Schnittstelle des Basismoduls eine Einkerbung, die vom Kameramodul passend ausgefüllt wird. Durch beide Module können Kabel, z.B. zur Auslösung des Zoom H2n, geführt werden.

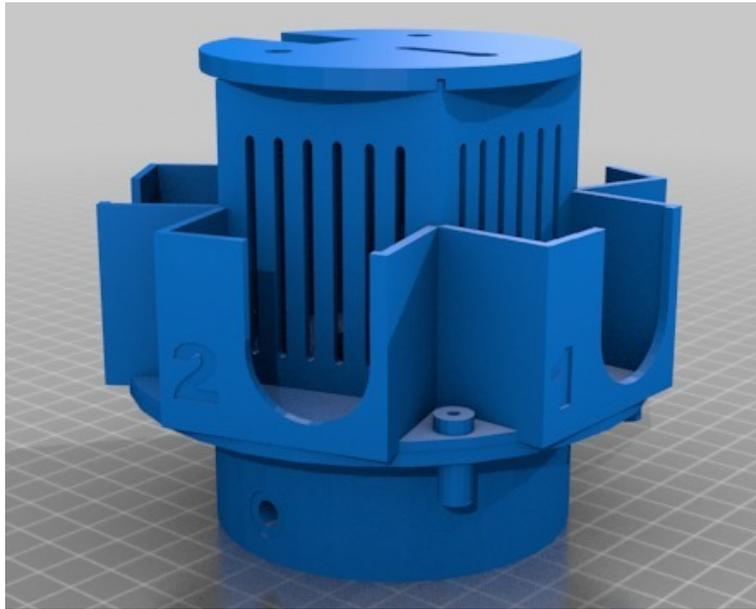


Abbildung 3.3: 360°-Modul für fünf GoPro-Kameras im Hochformat

Das erste Kameramodul (siehe Abbildung 3.3) ist für fünf hochkant ausgerichtete GoPro-Kameras ausgelegt. Die Kameras sind in einem Winkel von 72° zueinander ausgerichtet. Dabei werden 360° in der Horizontalen erreicht und maximal $122,6^\circ$ in der Vertikalen (siehe Kapitel 3.3.1). Daher sind in den daraus entstehenden Videos bei horizontaler Ausrichtung oben und unten jeweils Bereiche, die nicht aufgenommen werden. In diesem Bereich werden das Basismodul und das Zoom H2n versteckt. So ausgerichtet kommen für die Aufnahme nur Videomodi in Frage, die das Seitenverhältnis 4:3 unterstützen, da bei den anderen verfügbaren Modi der Überlappungsbereich an den Rändern reduziert ist und so ordentliche Ergebnisse im Stitching nicht möglich sind. Daher sind die Einstellungen 2,7K 4:3 (30 fps) und 1440p (max. 80 fps) empfehlenswert. Die Bildränder überlappen sich in dieser Konfiguration um jeweils etwa 12%. Alle anderen Modi liefern entweder das falsche Seitenverhältnis oder eine zu geringe Auflösung (siehe Kapitel 3.2.1).

Die Kameras werden mit dem Objektiv nach unten in die Halterungen gesteckt, sodass alle Bedienelemente erreichbar sind. Die SD-Karte und der USB-Anschluss sind in dieser Zusammenstellung nicht erreichbar, sodass die Kameras während der Aufnahme nicht geladen werden können. Da die GoPro-Kameras bei Aufnahmen mit hohen Auflösungen sehr warm werden, wurden Belüftungsschächte auf der Rückseite der Kamerahalterungen vorgesehen. Die Kamerahalterungen sind, genau wie die Kameras,

durchnummeriert, sodass eine einfache Zuordnung möglich ist. Der obere Deckel, auf den das Zoom H2n geschraubt werden kann, hält die Kameras in Position, sodass dieses Modul gedreht werden kann, ohne dass die Kameras herausfallen. Dieses Modul benutzt aufgrund des großen vertikalen Blickwinkels eine erhöhte Modul-Schnittstelle zum Basismodul, sodass das Basismodul auf den Videos nicht zu sehen ist.

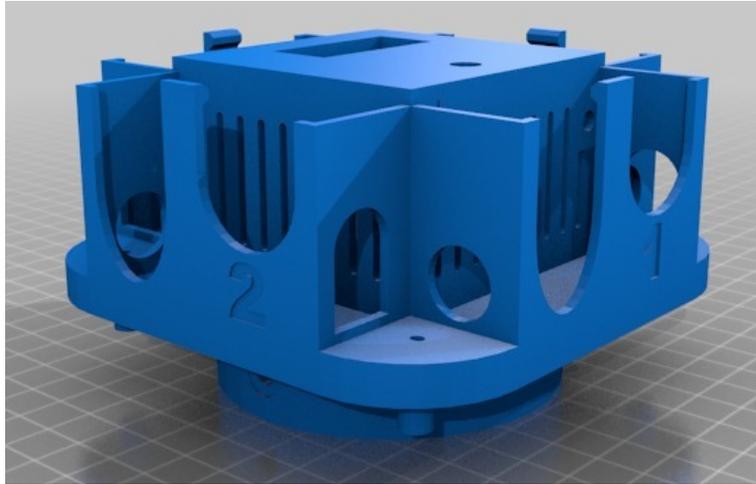


Abbildung 3.4: 360°-Modul für vier GoPro-Kameras im Querformat

Bei dem zweiten Kameramodul (siehe Abbildung 3.4, 3D-Druck noch ausstehend) können vier GoPro-Kameras im Querformat eingesetzt werden. Die Kameras sind in einem Winkel von 90° zueinander ausgerichtet. Dabei werden 360° in der Horizontalen und maximal $94,4^\circ$ in der Vertikalen erreicht. So ausgerichtet können grundsätzlich alle verfügbaren Videomodi genutzt werden, jedoch reduziert sich der vertikale Blickwinkel, wenn nicht das Seitenverhältnis 4:3 gewählt wird. Die Bildränder überlappen sich in dieser Konfiguration um jeweils etwa 13%.

Die Kamerahalterungen sind, wie bei dem vorherigen Modul, zur Wärmeabfuhr mit Belüftungsschächten versehen und durchnummeriert. Alle Bedienelemente der Kamera sind zu erreichen. Bei Bedarf kann ein Deckel aufgesteckt werden, auf dem das Zoom H2n fixiert werden kann. Ein Vorteil dieser Halterung ist, dass sowohl die SD-Karte als auch der USB-Anschluss erreicht werden können. Die Kameras können während der Aufnahme geladen werden, was längere Aufnahmezeiten ermöglichen kann. Nachteilig ist, dass die Kameras nicht fixiert werden können, sodass das Gehäuse nur mit Einschränkungen gekippt werden kann.

Weitere Kameramodule sind denkbar (siehe Kapitel 5) und können auf Basis der bisherigen Module entwickelt werden. Die Modul-Schnittstelle steht als STL-Datei zur Verfügung.

Für die fünf GoPro-Kameras wurden im 3D-Druck-Verfahren prototypisch das Basismodul und das Kameramodul für fünf Kameras umgesetzt (siehe Abbildung 3.5). Hierfür wurde PLA-Kunststoff (Polylactide) als Material gewählt. Als Materialfarbe wurde weiß gewählt, damit im Außeneinsatz das Gehäuse durch die Absorption von Sonneneinstrahlung möglichst wenig erwärmt wird.



Abbildung 3.5: Kamerasystem mit allen Komponenten

3.4.3 Zusammenführung der Daten

Nach der Aufnahme stehen üblicherweise mehrere Videodateien, zwei Audiodateien und eine Datei mit Messdaten zur Verfügung. In der Nachbearbeitung müssen diese Daten gesammelt und zusammengeführt werden.

Datenaggregation Zur Verwaltung der Daten wurde eine Softwarekomponente in der Programmiersprache Java entwickelt. Eine plattformunabhängige Ausführung ist daher möglich. Die entwickelte Software sammelt alle Dateien zentral in einem Verzeichnis. Die Rohdaten können von den entsprechenden SD-Karten nacheinander eingelesen werden. Dabei gibt die Anwendung dem Benutzer exakte Anweisungen, damit die Daten korrekt eingelesen und strukturiert abgelegt werden können. Während des Importvorgangs werden die Videodateien so benannt, dass nach der Verarbeitung in der Stitching-Software, die Verbindung zwischen Messdaten und Video weiter gegeben ist (siehe Kapitel 3.4.3, Abschnitt „Metadaten“).

Von einem automatisierten Import der Videodateien mittels W-LAN wurde abgesehen. Das Umstellen der GoPro-Kameras vom Modus „WI-FI RC“ (W-LAN-Fernbedienung) in den Modus „GoPro APP“ (Smartphone-Anwendung) ist aufwändiger als die SD-Karte zu entnehmen. Dies ist notwendig, da nur im Modus „GoPro APP“ auf die Dateien der GoPro per W-LAN zugegriffen werden kann. Zudem ist die Übertragung mit Hilfe der SD-Karte schneller und nicht jeder PC hat die notwendige W-LAN-Karte eingebaut.

In der Anwendung können die Dateien einer Aufnahme zu einem Projekt gruppiert werden. Das Auswählen der Dateien für ein Projekt wird mit verschiedenen Hilfsmitteln vereinfacht. Neben der manuellen Auswahl der Dateien, können die Dateien nach Aufnahmereihenfolge, Zeitstempel und Aufnahmelänge selektiert werden. In einem Projekt kann die CSV-Datei der Messdaten in ein anderes Format umgewandelt werden, beispielsweise KML. Zudem lässt sich die Stitching-Software aus dem Programm heraus starten. Die Videodateien aus dem Projekt können anschließend direkt in die Stitching-Software geladen werden.

Stitching der Videodaten Zum Stitchen der Videos wird Kolor Autopano Video genutzt. Andere Programme lassen sich in diesen Arbeitsprozess ebenso einbinden. Details zu dieser Stitching-Anwendung werden im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht erörtert. Nähere Informationen können dem Handbuch der Software entnommen werden.

Die gestitchte Videodatei wird entweder mit dem Codec h.264 als mp4-Datei gespeichert oder als unkomprimierte AVI-Datei. Hierbei ist zu beachten, dass der Codec h.264 auf eine maximale Auflösung von 4096×2304 Pixel und eine maximale Bildfrequenz von 64 fps beschränkt ist (ITU-T 2014, S. 300). Kolor Autopano Video exportiert die Videos, entsprechend dem Seitenverhältnis der 360° -Videos, mit einer maximalen Auflösung von 4096×2048 Pixel. Unkomprimierte AVI-Dateien müssen für Videodateien mit höherer Auflösung oder Bildfrequenz genutzt werden. Solche Dateien werden haben jedoch einen hohen Speicherbedarf.

Gestitchte 360° -Videodateien können beispielsweise mit KolorEyes³⁴ abgespielt werden. Das Programm kann dabei verschiedene Projektionen zur Wiedergabe anwenden. Die üblichen Abspielprogramme für Videos, wie beispielsweise VLC Media Player, eignen sich nicht zur Wiedergabe von 360° -Videos. Nachteilig ist unter anderem, dass das gesamte Video angezeigt wird, eine Schnittlinie im Video existiert und keine Blickrichtung gewählt werden kann.

Nutzung der Audiodaten Im Rahmen dieser Arbeit wurde darauf verzichtet, die Zusammenführung der extern aufgenommenen Audiodateien mit der 360° -Videodatei zu thematisieren. Problematisch ist, dass das Zoom H2n im Vierkanal-Modus (4CH) zwei Audiodateien anlegt, eine im MS-Stereosystem und eine im XY-Stereosystem. Die Verarbeitung der Daten zu einer Mehrkanal-Audiodatei erfordert weitere Schritte. Zudem lassen sich mit Hilfe von Kolor Autopano Video bisher nur die Audioaufnahmen der Kameras einbinden und synchronisieren. Externe Aufnahmen müssen daher manuell synchronisiert und in die Videodatei eingebunden werden.

Metadaten Das Arduino-System speichert die Daten im CSV-Dateiformat. Mittels der entwickelten Software zur Datenverwaltung lassen sich diese Daten in das KML-Format überführen. Andere Dateiformate können bei Bedarf ergänzt werden.

In den KML-Dateien wird pro Messung ein Placemark angelegt. Jeder Placemark enthält die Positionsdaten in Form eines Punktes. Die zeitliche Komponente wird in einem Timestamp hinterlegt. Die Blickrichtung wird in der Heading-Einstellung eines LookAt-Elements gespeichert. Alle zusätzlichen Daten stehen als Attribut im Abschnitt ExtendedData zur Verfügung.

³⁴<http://www.kolor.com/kolor-eyes/> (Kostenlos, Lizenz: proprietär, Abruf: 11.10.2015)

Ein zu bewältigendes Hindernis stellte die Kombination des zusammengeführten 360°-Videos mit den aufgezeichneten Daten des Kompasses dar. Auf den ersten Blick ist kein Problem zu erkennen, denn der Kompass wird im Gehäuse so ausgerichtet, dass der Blickwinkel einer Kamera direkt durch die Messwerte bekannt ist. Die Blickwinkel aller anderen Kameras lassen sich anschließend berechnen, da der Winkel zwischen den einzelnen Kameras bekannt ist. Das Problem entsteht erst durch das Zusammenführen der einzelnen Videos, denn nun ist technisch nicht mehr bekannt, welcher Teil des 360°-Videos von welcher Kamera aufgenommen wurde. Somit besteht keine direkte Verbindung mehr zwischen den aufgezeichneten Daten des Kompasses. Hier galt es ein Verfahren zu finden, das den Bezug zwischen 360°-Video und Messdaten erneut herstellt, sodass es technisch nutzbar ist. Bei diesem Problem hilft uns die verwendete Software zum Stitchen der Videos. Eigene Versuche ließen den Schluss zu, dass die Mitte der gestitchten Videos der Mitte des Videos mit dem kleinsten Dateinamen entspricht. Den kleinsten Dateinamen hat das Video, dessen Dateiname bei absteigender natürlicher Sortierung an erster Stelle steht. Da bei den in dieser Arbeit erstellten Kameramodulen die Kamera 1 passend zum Kompass ausgerichtet ist, muss beim Sammeln der Videos darauf geachtet werden, dass die Videos entsprechend benannt werden. Sollte dieses Verfahren einmal nicht mehr möglich sein, so wäre eine Alternative Herangehensweise, die Mitte des Videos der Kamera 1 mittels Algorithmen der Bild- und Mustererkennung im gestitchten Video zu ermitteln.

Es fehlt derzeit an Software, die die Wiedergabe der 360°-Videos im Kontext der Metadaten erlaubt. Um die aggregierten Metadaten nutzen zu können, sind daher, je nach Anwendungsfeld, eigens entwickelte Softwareprodukte nötig.

3.5 Verwendung des Kamerasystems

In diesem Kapitel werden kurz einige wichtige Aspekte erläutert, die zur Aufnahme von 360°-Videos mit dem hier entwickelten Kamerasystem hilfreich sind. Eine genaue Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Anfertigung von Aufnahmen steht zur Verfügung (siehe Anhang A). Im Vordergrund steht hier, für die Aufnahmen die besten Entscheidungen zu treffen.

Vor der Aufnahme sollte geprüft werden, ob die Akkus vollständig geladen sind und die Speicherkarten geleert wurden. Dies gilt sowohl für die GoPro-Kameras, das Arduino-System als auch das Zoom H2n. Die Akkus der GoPro-Kameras sind mit 1160 mAh Kapazität recht schwach und sind nach etwa einer Stunde Videoaufnahme geleert³⁵, sodass eine vollständige Ladung wichtig ist. Die W-LAN-Funktion der Kameras verbraucht im Vergleich zum Betrieb der Kameras relativ wenig Strom. Nach Aktivierung der W-LAN-Funktion können die Kameras über die Fernbedienung ein- und ausgeschaltet werden. Dies sollte immer gemacht werden, da die Kameras im Bereitschaftsmodus, d.h. wenn keine Aufnahme läuft, einen hohen Energieverbrauch haben.

Es ist wichtig, dass die Einstellungen der einzelnen Kameras identisch sind. Ein falscher Weißabgleich lässt sich im Nachhinein zwar korrigieren, auch eine falsche Belichtung ist möglicherweise noch mit Einschränkungen zu korrigieren, aber beispielsweise Videos mit unterschiedlicher Auflösung oder falschem Seitenverhältnis lassen sich in den meisten Fällen nur noch mit großen Einschränkungen oder nicht mehr verarbeiten. Es sollte vor der Aufnahme geprüft werden, ob alle Kameras die gleichen Einstellungen gespeichert haben. Man sollte sich vor der Aufnahme Gedanken machen, welche

³⁵<https://de.gopro.com/support/articles/hero4-camera-battery-life> (Abruf: 01.10.2015)

Videoeinstellungen für die nächste Aufnahme geeignet sind. Die Auflösung und die Bildfrequenz haben sowohl Einfluss auf das spätere Video, als auch auf die Laufzeit der Kamera und den Speicherbedarf der Videos. Dementsprechend sollte die gewünschte Aufnahmelänge berücksichtigt werden. 2,7K-Videos können auf Grund von Hitzestau an den Kameras oft nicht länger als etwa 40 Minuten andauern, bei 4K-Videos reduziert sich die Laufzeit sogar auf knapp 30 Minuten. Daher sollte bei längeren Aufnahmen ggf. 1440p als Aufnahmemodus gewählt werden. Es stellt sich zudem die Frage der Bildfrequenz. 60 fps liefert im Allgemeinen einen ruhigeren Bildeindruck, kann jedoch bei wenig Licht zu höherem Bildrauschen führen. Außerdem ist der Speicherbedarf größer und der Nachbearbeitungsprozess wird wegen der erhöhten Datenmenge eine längere Zeit in Anspruch nehmen.

Das Zoom H2n sollte ebenfalls auf korrekte Einstellungen geprüft werden, insbesondere ob der Vierkanal-Ton ausgewählt ist. Das Zoom sollte immer mit dem Display in dieselbe Richtung schauen wie Kamera 1, ansonsten wird der Ton wahrscheinlich nicht zu den Videoaufnahmen passen.

Beim Zusammenbau der Halterung muss das für den Zweck passende Kameramodul gewählt werden. Die Kameras sollten entsprechend ihrer Nummerierung in das Gehäuse gesteckt werden. Falsch platzierte Kameras erschweren den Nachbearbeitungsprozess. Nach dem Zusammenbau ist zu prüfen, ob die Kabel so liegen, dass sie nicht von den Kameras erfasst werden.

Die Wahl des Standorts bzw. der Wegstrecke bei nicht-stationären Videos ist genau zu prüfen. Wegen der Parallax-Problematik (siehe Kapitel 2.2.3) ist darauf zu achten, dass die nächsten Objekte möglichst weit von der Kamera entfernt sind oder nur von einer Kamera aufgenommen werden. Das heißt, nahe gelegene Objekte sollten möglichst nicht in Randbereichen der Kameras aufgenommen werden. Auf sich bewegende Objekte sollte geachtet werden, beispielsweise vorbeifahrende Autos oder passierende Menschen. Ebenfalls problematisch im Randbereich der Aufnahmen sind sich viel bzw. dauerhaft bewegende Objekte. Beispielsweise sich im Wind bewegende Bäume sind kaum ordentlich zu stitchen und zu synchronisieren. Wenn möglich, sollte vermieden werden, dass die Sonneneinstrahlung die Kameras direkt erreicht. Die zur Sonne gerichtete Kamera wird in diesem Fall häufig andere Belichtungsparameter wählen, sodass ein inhomogen belichtetes 360°-Video entstehen kann. Außerdem neigt die Umgebung der Sonne dazu, überbelichtet aufgenommen zu werden. Zudem können durch direkte Sonneneinstrahlung Bildfehler, sogenannte Lens Flares, auftreten. Diese können im Randbereich der Videos zu Problemen beim Stitchen führen.

Bei Bedarf sollte mit Hilfe der am Basismodul angebrachten Dosenlibelle geprüft werden, ob die Halterung gerade angebracht wurde.

Direkt vor und während der Aufnahme ist ständig zu prüfen, ob alle Geräte ordnungsgemäß funktionieren. Die GoPro-Kameras blinken während der Aufnahme. An die Arduino-Basisplatine sind mehrere LEDs angeschlossen, um den Status der einzelnen Komponenten anzuzeigen (siehe Tabelle 1). Ein Indiz für die Funktionsfähigkeit der Kameras und des Arduino-Systems ist zudem die Anzeige der Anzahl der verbundenen Kameras auf der Fernbedienung. Dort sollte immer eine Kamera mehr angezeigt werden als Kameras in Betrieb sind, da sich das Arduino-System ebenfalls als Kamera an der Fernbedienung anmeldet. Sollte sich die Anzahl der Kameras während der Aufnahme reduzieren, so wird wahrscheinlich eine der Komponenten nicht mehr ordnungsgemäß funktionieren. Während der Aufnahme sollte vermieden werden, dass das Arduino-System vom Strom getrennt wird. Die Wahrscheinlichkeit, das Dateisystem auf der Speicherkarte zu zerstören, ist systembedingt relativ hoch.

Nach der Aufnahme sollte geprüft werden, ob alle Geräte ordnungsgemäß die Aufnahme gestoppt haben. Das nachträgliche Stoppen einer Aufnahme ist für den späteren Nachbearbeitungsprozess normalerweise kein Problem. Alle Kameras sollten, wenn die Speicherkarten vor dem Aufnahmezyklus geleert wurden, die gleiche Anzahl an aufgenommenen Videos auf dem Display anzeigen. Die Kameras sollten nun ggf. über die Fernbedienung abgeschaltet werden, damit Energie gespart werden kann.

4 Evaluation

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Kamerasystem zur Aufnahme von georeferenzierten Panoramavideos zu entwickeln. Wie in den vorherigen Kapiteln schon gezeigt werden konnte, ist dieses Vorhaben größtenteils erfolgreich verlaufen und es wurde prototypisch gezeigt, dass eine solche Umsetzung möglich ist. Dennoch gab es einige Punkte, die nicht so wie geplant umgesetzt werden konnten.

Festzustellen ist, dass alle relevanten Daten aufgezeichnet werden. Problematisch ist, dass das System nur vollständige Daten liefert, wenn das GPS-Signal ausreichend stark ist. Dies beschränkt die Nutzung beispielsweise in Gebäuden. Da in Gebäuden der Platz meist begrenzt ist, tut sich hier ein weiteres Problem auf: Durch die Anordnung der Kameras kommt es hier verstärkt zu Parallaxenfehlern. Dieses Problem ist aber auch im Außeneinsatz zu beobachten, wenn beispielsweise neugierige Passanten dem Gerät zu nahe kommen. Hier liegt ein großer Schwachpunkt des Systems, der bei dem genutzten Ansatz mit mehreren Kameras derzeit nicht behoben werden kann.

Die Kompassmessungen sind anfällig gegenüber Störquellen bzw. anderen Magnetfeldern. So ist nicht immer garantiert, dass die Messungen wirklich korrekt sind. Dies ist ein grundsätzliches Problem bei der Nutzung eines Kompasses, sodass eine generelle Lösung für das Problem unwahrscheinlich sein dürfte.

Die Entwicklungen in Bezug auf die Steuerung und Datenaufzeichnungen sind sehr weit vorangeschritten und bieten eine gute Grundlage für weitere Entwicklungen. Das System arbeitet noch nicht fehlerfrei. Einerseits läuft das System noch nicht ausfallsicher und andererseits ist die Kommunikation mit dem externen Audioaufnahmegerät zwar möglich, jedoch startet das Gerät die Aufnahme nicht immer zuverlässig, obwohl bestätigt wird, dass die Aufnahme gestartet wurde. Beides sind Fehler, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit beheben lassen und somit das System nicht generell in Frage stellen.

Die Videoaufzeichnung funktioniert sehr zuverlässig, jedoch ist die verwendete Hardware anfällig für Überhitzung. Dies ist ein generelles Problem der Kameras, unabhängig von den hier vorgenommenen Entwicklungen.

Die ursprüngliche Synchronisation mit Hilfe der GoPro-Fernbedienung hat sich als unzuverlässig erwiesen. Zwar lösen alle Systeme mit einem maximalen Versatz von etwa 500 Millisekunden aus, jedoch ist dies bei den Kameras nicht ausreichend präzise, um ein akzeptables Stitching ohne weitere Synchronisierung durchführen zu können. Dies ist unproblematisch, da die verwendete Software Möglichkeiten bietet, um die Synchronisierung in der Nachbearbeitung vorzunehmen.

Die Nachbearbeitung der aggregierten Daten ist nicht so einfach möglich wie ursprünglich geplant. Das Stitching der Videos funktioniert problemlos, jedoch ist das Zusammenführen mit den Messdaten und den extern aufgenommenen Audiodaten problematisch und zeitintensiv. Kolor Autopano Video unterstützt es derzeit nicht, andere Quellen als die Kameras für Audioaufnahmen zu wählen. Manuell lässt sich das zwar lösen, jedoch ist insbesondere die Synchronisierung außerhalb des Programms aufwändig. Auch die Zuordnung der Metadaten zu den Videos ist problematisch, wenn die Videos beschnitten werden, da anschließend der Bezug nicht mehr exakt gegeben ist. Eine Zuordnung über die Zeitstempel könnte möglich sein, wurde im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht weiter verfolgt, da sich die Uhren der Kameras nur maximal

sekundengenau einstellen lassen. Insbesondere das Zusammenführen der Daten lässt sich noch optimieren. Generell ist die Nachbearbeitung aufwändiger als erwartet. Im Vergleich zu der bisher am Institut eingesetzten Lösung mit drei DSLR-Kameras ist die hier entwickelte Lösung zwar schneller aufzubauen, jedoch sind in der Nachbearbeitung derzeit noch mehr Schritte zu gehen.

Auf Grund der aufwändigen und zeitintensiven Nachbearbeitung ist eine Echtzeitnutzung derzeit nicht denkbar. Die Nutzung in zeitkritischen Szenarien ist mit diesem System nicht möglich.

Das entwickelte modulare Gehäuse bietet eine gute Grundlage für weitere Module. Es ist stabil und einfach zu benutzen. Eine produktive Nutzung ist möglich.

Dieses 360°-Kamerasystem mit vollständiger Aufzeichnung von Geodaten ist wahrscheinlich das erste seiner Art, welches erweiterbar unter einer Open-Source-Lizenz vorliegt. Die grundlegenden Arbeiten wurden vorgenommen und können für weitere Entwicklungen genutzt werden.

5 Fazit und Ausblick

Bei dem hier entwickelten Kamerasystem handelt es sich aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit um eine prototypische Umsetzung. Es wurde gezeigt, wie ein Kamerasystem mit Daten aus dem geoinformatischen Kontext verknüpft werden kann. Dies öffnet den aktuellen Trend der 360°-Videos für die Geoinformatik und seine Arbeitsfelder. Eine Weiterentwicklung sollte jedoch angedacht werden.

Da der Quelltext und die 3D-Druckvorlagen der Komponenten unter einer Open-Source-Lizenz zur Verfügung stehen, ist die Weiterentwicklung möglich und erwünscht. In Kapitel 4 finden sich bereits einige Hinweise zu möglichen Verbesserungen. Insbesondere die Stabilität und Zuverlässigkeit der Software für das Arduino-System sollte weiter verbessert werden.

Das Arduino-System könnte, je nach Anwendungsgebiet, mit weiteren Sensoren ausgestattet werden, beispielsweise für Temperatur-, Sichtweiten- oder Windmessungen. Ramalho und Chambel (2013) zeigen, wie die Messung der Windparameter in die Wiedergabe von 360°-Videos einfließen könnte, um die Immersion realistischer zu gestalten.

Die Anwendung zur Zusammenführung bzw. Nachbearbeitung der Daten kann ebenfalls ausgebaut werden. Das Zusammenführen der Audioaufzeichnungen des Zoom H2n mit den Videos ist derzeit ein arbeitsaufwändiger Schritt, der manuell vorgenommen werden muss. Ein Automatismus zur Synchronisierung und Einbindung in die Videodateien wäre wünschenswert. Die Übertragung der Video- und Messdaten mittels W-LAN könnte, als Alternative zum Import mittels SD-Karte, ermöglicht werden. Es müsste nur noch die SD-Karte des externen Audiorekorders entnommen werden. Die Assistentenanwendung könnte ebenfalls die Videos und Metadaten direkt in die IVE-Datenbank des Instituts hochladen. Weitere Schnittstellen - beispielsweise für YouTube oder Facebook - wären eine Option. Die 360°-Videos könnten fertig vorbereitet und automatisiert hochgeladen werden.

Es lassen sich, wie in Kapitel 3.4.2 erwähnt, für andere Anwendungsgebiete weitere Kameramodule entwickeln. Die Entwicklung eines 3D-Moduls würde neue Anwendungsgebiete erschließen. 2×2 Kameras könnten entsprechend für 3D-Videos ausgerichtet werden. Dabei würde es sich zwar nicht mehr um 360°-Videos handeln, jedoch würden diese Videos realistischere Ergebnisse in einer Virtual-Reality-Brille liefern. Für die Kopplung unter ein unbemanntes Luftfahrzeug (UAV), beispielsweise ein MD4-1000, wäre ein anderes Kameramodul sinnvoll, das eine Halbkugel aufnimmt und nicht, wie bei den bisher entwickelten Kameras, zum Boden hin keine vollständige Aufnahme ermöglicht. Das bereits entwickelte Kameramodul für vier GoPro-Kameras könnte so erweitert werden, dass es statt dem Zoom H2n noch eine fünfte Kamera aufnimmt, welche den nicht in der Aufnahme berücksichtigten Bereich füllt.

Literaturverzeichnis

- B.R. Bassett, K. Pimentel, und P.A. Ronzani. Head-mounted visual display apparatus, June 14 1994. US Patent 5,321,416.
- H.P. Brueggemann. Full circumferential viewing system, August 31 1965. US Patent 3,203,328.
- A. Curtis, J.W. Mills, B. Kennedy, S.W. Kennedy, und J.D. Edwards. Spatial video data collection in a post-disaster landscape: The tuscaloosa tornado of april 27th 2011. *Applied Geography*, 32(2):393–400, March 2012.
- J.E. Davis, K.R. Castle, M.N. Todd, T.W. Stuhlinger, und M. Ruda. Panoramic optics assembly having an initial flat reflective element, November 24 1998. US Patent 5,841,589.
- J. Foote, S. Ahmad, und J. Boreczky. Automatic video system using multiple cameras, March 21 2006. US Patent 7,015,954.
- J.T. Foote. Method and system for compensating for parallax in multiple camera systems, October 2 2007. US Patent 7,277,118.
- O.G. Glatt. 360-degree panoramic scene-storage device, July 4 2006. US Patent 7,071,964.
- H. Herman und S. Singh. Panoramic mirror and system for producing enhanced panoramic images, February 15 2005. US Patent 6,856,472.
- L.A. Hernandez, J. Taibo, und A.J. Seoane. Immersive video for virtual tourism. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 4520:63–73, 2001.
- P.S. Hilaire. System and method for panoramic imaging using concentric spherical mirrors, August 4 1998. US Patent 5,790,182.
- J. Hsieh, H. Gadjali, und T. Ho. Systems and methods for calibration of a 360 degree camera system, October 9 2014. US Patent App. 14/248,136.
- ITU-T. *H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services*. https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-H.264-201402-I!!PDF-E&type=items, February 2014. Abgerufen: 12.10.2015.
- R.D. Jacobson, R. Kitching, und R. Golledge. Multi-modal virtual reality for presenting geographic information. In *Virtual Reality in Geography*, Seiten 382–400. Taylor & Francis, 2002.
- M.-H. Ju und H.-B. Kang. A new simple method to stitch images with lens distortion. In *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Visual Computing - Volume Part II, ISVC'10*, Seiten 273–282, Berlin, Heidelberg, 2010. Springer-Verlag.

- J.D. Keast und J.F. Buford. Digital video panoramic image capture and display system, February 24 1998. US Patent 5,721,585.
- C. Kray und M. Ostkamp. Prototyping mobile AR in immersive video environments. Workshop on Designing Mobile Augmented Reality at Mobile HCI 2013, 2013.
- M. Montgomery. Multi-lens, 360-degree time lapse camera, December 20 2012. US Patent App. 13/483,946.
- K.E. Moore und J.W. Gerrard. A tour of the tors. In *Virtual Reality in Geography*, Seiten 190–207. Taylor & Francis, 2002.
- S.K. Nayar. Omnidirectional video camera. In *In Proceedings of the 1997 DARPA Image Understanding Workshop*, 1997.
- J.H. Nelson, L. Hurwitz, und D.G. Knapp. Magnetism of the earth. Publication 40-1, U.S. Department of Commerce – Coast and Geodetic Survey, Washington, 1962. URL ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/wdc/geomagnetism/docs/publications/1962/Nelson_1962_475.pdf. Abgerufen: 12.10.2015.
- L.A.R. Neng und T. Chambel. Get around 360° hypervideo. In *Proceedings of the 14th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, MindTrek '10, Seiten 119–122, 2010.
- G. Noronha, C. Álvares, und T. Chambel. Sharing and navigating 360° videos and maps in sight surfers. In *Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference*, MindTrek '12, Seiten 255–262, New York, NY, USA, 2012.
- C. Ogleby. Virtual world heritage cities. In *Virtual Reality in Geography*, Seiten 239–256. Taylor & Francis, 2002.
- M. Ostkamp und C. Kray. Supporting design, prototyping, and evaluation of public display systems. In *Proceedings of the 2014 ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems*, Seiten 263–272, 2014.
- X. Peng, M. Bennamoun, Q. Wang, Q. Ma, und Z. Xu. A low-cost implementation of a 360° vision distributed aperture system. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 25(2):225–238, Feb 2015.
- T.J. Poelstra. Method and device for producing panoramic images, and a method and device for consulting panoramic images, October 8 1996. US Patent 5,563,650.
- J. Ramalho und T. Chambel. Windy sight surfers: Sensing and awareness of 360° immersive videos on the move. In *Proceedings of the 11th European Conference on Interactive TV and Video*, EuroITV '13, Seiten 107–116, New York, NY, USA, 2013.
- K.J. Ritchey. Panoramic display system, July 14 1992. US Patent 5,130,794.
- G.R. Rosendahl und W.V. Dykes. Lens system for panoramic imagery, July 26 1983. US Patent 4,395,093.
- P. Shrestha, H. Weda, M. Barbieri, und D. Sekulovski. Synchronization of multiple video recordings based on still camera flashes. In *Proceedings of the 14th Annual ACM International Conference on Multimedia*, MULTIMEDIA '06, Seiten 137–140, 2006.

- D.U. Silverthorn. *Physiologie*. Pearson Education Deutschland, 4. Auflage, 2009.
- P. Singh, H.N. Ha, Z. Kuang, P. Olivier, C. Kray, P. Blythe, und P. James. Immersive video as a rapid prototyping and evaluation tool for mobile and ambient applications. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '06, Seite 264, 2006.
- H. Su, A. Hajj-Ahmad, C.-W. Wong, R. Garg, und M. Wu. Enf signal induced by power grid: A new modality for video synchronization. In *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Immersive Media Experiences*, ImmersiveMe '14, Seiten 13–18, 2014.
- I.E. Sutherland. A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, AFIPS '68 (Fall, part I), Seiten 757–764, 1968.
- R. Szeliski. Image alignment and stitching: A tutorial. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 2(1):1–104, January 2006.
- S. Trubko und V. PERI. Three-mirror panoramic camera, May 28 2013. US Patent 8,451,318.
- A. Whitehead, R. Laganiere, und P. Bose. Temporal synchronization of video sequences in theory and in practice. In *Application of Computer Vision, 2005. WACV/MOTIONS '05 Volume 1. Seventh IEEE Workshops on*, volume 2, Seiten 132–137, Jan 2005.
- H. Woeste. *Panoramafotografie: Theorie und Praxis*. dpunkt.verlag, 2008.
- R. Zimmermann, S.H. Kim, S.A. Ay, B. Seo, Z. Shen, G. Wang, J. Hao, und Y. Zhang. Apparatus, system, and method for annotation of media files with sensor data, December 12 2013. US Patent App. 14/000,846.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Das Gleiche gilt auch für die beigegebenen Zeichnungen und Darstellungen.

Ich bin einverstanden mit einer zum Zweck der Plagiatskontrolle vorzunehmenden Speicherung der Arbeit in einer Datenbank sowie ihrem Abgleich mit anderen Texten zwecks Auffindung von Übereinstimmungen.

Münster, den 13. Oktober 2015

Matthias Mohr

Anhang

A Zusätzliche Materialien

Unter der Adresse

`https://giv-vcs.uni-muenster.de/m_mohr08/360-degree-video`

können folgende zusätzlichen Materialien abgerufen werden:

- Diese Bachelorarbeit
- Quelltext für das entwickelte Arduino-System
- Entwickelte Software zur Aggregation und Nachbearbeitung der Daten, sowie der dazugehörige Quelltext
- Bedienungsanleitung zur Nutzung des Kamerasystems, sowie die LED-Statuscodes des Arduino-Mikrocontrollers
- CAD-Modelle für den 3D-Druck des Gehäuses

Diese Daten liegen der gedruckten Version der Bachelorarbeit ebenfalls auf einer CD bei oder sind in dieser Arbeit abgedruckt.

B LED-Statuscodes des Arduino-Mikrocontrollers

Siehe folgende Seite.

Tabelle 1: LED-Statuscodes des Arduino-Mikrocontrolllers

Nr. v.r.n.l.	Farbe	Nutzung	Anzeige	Bedeutung
1	Rot	Power	An Blinkt	Mikrocontroller wird gestartet, bitte warten (alle anderen LEDs sind abgeschaltet)! Mikrocontroller in Betrieb.
2	Gelb	Aufnahme- bereitschaft	An	Gerät ist abgeschaltet, bekommt jedoch noch Signale vom Audiorekorder. Umgehend die Verbindung zum Audiorekorder trennen! Alle Sensoren und Funktionen sind aufnahmebereit. <i>Hinweis: Sollte das Audioaufnahmegerät nicht angeschlossen sein, so ist das Gerät aufnahmebereit, sobald die LEDs 7-10 dauerhaft leuchten.</i>
3	Grün	Aufnahme	Aus Blinkt	Das Gerät ist noch nicht vollständig aufnahmebereit. Aufnahme läuft und Daten werden geloggt.
4 / 5	-	Ungenutzt	-	Derzeit keine Aufnahme aktiv.
6	Grün	Audiorekorder	An Blinkt	Audiorekorder ist angeschlossen und bereit. Audiorekorder ist nicht angeschlossen oder nicht bereit.
7	Grün	GPS	An Blinkt	Audioaufnahme konnte nicht gestartet werden. GPS ist betriebsbereit und hat Verbindung zu ausreichend Satelliten (GPS Fix). GPS ist nicht betriebsbereit oder hat kein ausreichend starkes Signal.
8	Grün	Kompass	An Blinkt	Kompass ist betriebsbereit. Kompass konnte nicht initialisiert werden, ggf. Hardware prüfen oder neustarten.
9	Grün	WLAN	An Blinkt	Verbindung zur Fernbedienung vorhanden. Verbindung zur Fernbedienung wird hergestellt.
10	Grün	SD-Karte	An Blinkt	Keine Verbindung zur Fernbedienung, ggf. Pairing-Modus der Fernbedienung aktivieren. SD-Karte vorhanden und beschreibbar. SD-Karte fehlt oder ist nicht beschreibbar.