
BACHELORARBEIT

Frau
Marie Künzelmann

**Vergleich von 360°-
Videoaufnahmesystemen**

2017

Fakultät: Medien

BACHELORARBEIT

Vergleich von 360°- Videoaufnahmesystemen

Autorin:
Frau Marie Künzelmann

Studiengang:
Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe:
MG13wV-B

Erstprüfer:
Prof. Dipl. Toningenieur Mike Winkler

Zweitprüfer:
Dipl.-Inf. Robert Knauf

Einreichung:
Mittweida, 01.03.2017

Faculty of Media

BACHELOR THESIS

Comparison of 360° video recording systems

author:

Ms. Marie Künzelmann

course of studies:

Media and Acoustical Engineering

seminar group:

MG13wV-B

first examiner:

Prof. Dipl. Toningenieur Mike Winkler

second examiner:

Dipl.-Inf. Robert Knauf

submission:

Mittweida, 01.03.2017

Bibliografische Angaben

Künzelmann, Marie:

Vergleich von 360°-Videoaufnahmesystemen

Comparison of 360° video recording systems

94 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2017

Abstract

Mit 360°-Aufnahmesystemen können Videos aufgenommen werden, bei denen jeder Bildwinkel der Umgebung abgedeckt ist. Das Angebot an Kameras zur Erstellung von 360°-Videos steigt stetig, sodass ein Überblick der aktuell verfügbaren Kamerasysteme erschwert wird. Die Verfasserin gibt in dieser Arbeit einen Marktüberblick und führt einen Vergleich von 360°-Videoaufnahmeverfahren durch. Dafür werden Kamerasysteme in sinnvolle Gruppen unterteilt und Nutzwertanalysen durchgeführt. Der Vergleich wird in zwei Varianten vorgenommen, mit und ohne Einbeziehung des Preises. Anschließend wird die Sinnhaftigkeit eines Vergleichs über die Gruppengrenzen hinaus erörtert.

360° video recording systems allow to record videos which cover the entire angle of your surroundings. The range of currently available cameras is continuously increasing, which makes it hard to choose one of them. This thesis gives an overview on the current market and compares different methods of recording 360° videos. Therefore the camera systems are divided in sensible groups to use utility-analysis. These analysis is done two times: first time taking the cost of the camera into account, the second time not. This is followed by a discussion of the possibility of comparing cameras across all groups with each other.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Formelverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung.....	1
2 Vorgehensweise	3
3 Definitionen	4
4 Technische Voraussetzungen.....	8
5 Vergleichsmethode.....	10
6 Einteilung der Systeme in Gruppen	14
6.1 Aktuelle und historische Einteilungen.....	14
6.2 Einteilung in dieser Arbeit	15
6.2.1 Weitwinkelbasiertes 360°-Aufnahmesystem	16
6.2.2 Mosaikbasiertes 360° - Aufnahmesystem	16
6.2.3 Lichtfeldbasierte 360°-Aufnahmesysteme.....	17
7 Einführung der Kriterien.....	18
7.1 Videoqualität	18
7.2 Bedienfreundlichkeit.....	24
7.3 Qualität des sphärischen Videomaterials	28
7.4 Kostenfaktor - Preis	31
7.5 Zusammenfassung	32
8 Vergleich der 360°-Kameras innerhalb der Gruppen	33
8.1 Weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme.....	33
8.1.1 Funktionsweise.....	33
8.1.2 Wichtung der Kriterien.....	34
8.1.3 Vergleich Weitwinkelbasierter 360°- Aufnahmesysteme.....	35
8.1.4 Indiecam nakedEYE	43
8.1.5 Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten	44
8.2 Mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme.....	45
8.2.1 Funktionsweise.....	45

8.2.2	Wichtung der Kriterien.....	46
8.2.3	Vergleich mosaikbasierter 360°-Aufnahmesysteme	47
8.2.4	Gegenüberstellung mosaikbasierter Aufnahmesysteme mit mehr als acht Optiken	52
8.2.5	Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten	54
8.3	Lichtfeldbasierte 360°-Aufnahmesysteme.....	55
8.3.1	Funktionsweise.....	56
8.3.2	Beschreibung der Lichtfeldkamera Lytro Immerge.....	57
8.3.3	Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten	58
9	Gruppenübergreifende Auswertung	59
10	Zusammenfassung.....	61
	Literaturverzeichnis.....	XIV
	Anhang.....	XXII
	Eigenständigkeitserklärung.....	XXXII

Abkürzungsverzeichnis

Akku	-	Akkumulator
AoV	-	Angle of View
CES	-	Consumer Electronics Show
dB	-	Dezibel
DoF	-	Degree of Freedom
EMVA	-	European Machine Vision Association
FoV	-	Field of View
fps	-	Frames per Second
GB	-	Gigabyte
Hz	-	Hertz
IBC	-	International Broadcast Convention
MB	-	Megabyte
MP	-	Megapixel
NWA	-	Nutzwertanalyse
SNR	-	Signal-to-noise-ratio
VR	-	Virtuelle Realität/Virtual Reality

Formelverzeichnis

Formel 1 - Bildwinkel	5
Formel 2 - Gesamtgewicht des Kriteriums (i.d.G. = in der Gruppe)	12
Formel 3 - Lichtstärke	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Prognose zur Anzahl der aktiven VR – Nutzer weltweit. (Quelle: Statista GmbH (Hrsg.): Prognose zur Anzahl der aktiven Virtual-Reality-Nutzer weltweit von 2014 bis 2018 (in Millionen). https://de.statista.com/statistik/daten/studie/426237/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-aktiven-virtual-reality-nutzer-weltweit/ , Zugriff: 24.01.17	1
Abbildung 2 - Schematische Darstellung des Sichtfeldes einer Kamera (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	4
Abbildung 3 - Bildwinkel 360°-Kamera (Quelle: Eigene Darstellung. in Anlehnung an Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016.)	8
Abbildung 4 - Einteilung omnidirektionaler Kameras (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	15
Abbildung 5 - Rektangulärprojektion von 360°-Material einer Ricoh Theta S (Quelle: Ricoh Company, Ltd (Hrsg.): THETA. Birthday Party in Japan. https://theta360.com/spheres/samples/532f020e-4569-11e5-a824-064087ff3472-1 , Zugriff: 03.02.17.)	21
Abbildung 6 - Brennweite und Brennpunkt (Quelle: Beyerer, Jürgen; Puente León, Fernando; Frese, Christian: Automatische Sichtprüfung. Grundlagen, Methoden und Praxis der Bildgewinnung und Bildauswertung. Berlin Heidelberg, 2012, S.192.)	22
Abbildung 7 - Kleiner und großer Abstand der Kameraoptiken (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	25
Abbildung 8 - Variable Blindspots durch unterschiedlichen AoV (Quelle: Eigene Darstellung, 2017)	29
Abbildung 9 - Sichtbare Stitchlinie (Quelle: Youtube LLC (Hrsg.): https://creatoracademy.youtube.com/page/lesson/360-production?ytref=progress&cid=360video&hl=de , Videoscreenshot: 0:30 min, Zugriff: 06.02.17.)	30
Abbildung 10 - Nikon Keymission360 und Kodak Pixpro Orbit360 (v.l., nicht maßstabsgetreu) (Quelle: Eigene Darstellung, 2017. In Anlehnung an: Cool Hunting (Hrsg.): Nikon Keymission 360. http://www.coolhunting.com/tech/nikon-keymission-360 , Zugriff: 15.02.17. / Photo Industry Reporter, Inc. (Hrsg.): Kodak PixPro 2017 Digital Camera & Devices. http://www.direporter.com/products/360o/kodak-pixpro-2017-digital-camera-devices , Zugriff: 15.02.17.)	33

Abbildung 11 - **Nikon Keymission 360** (Quelle: 360grad-Kamera-Check.de (Hrsg.): Nikon Keymission 360 im Test. http://www.360grad-kamera-check.de/nikon_keymission_360/, Zugriff: 16.02.17.) 37

Abbildung 12 - **Kodak PixPro Orbit360** (Quelle: Eastman Kodak Company (Hrsg.): ORBIT360 4K. <http://www.kodak.com/Consumer/Products/Digital-Cameras/Action-Camera/Orbit360/default.htm>, Zugriff: 16.02.17.) 37

Abbildung 13 - **Samsung Gear 360** (Quelle: Samsung Electronics Co., Ltd. (Hrsg.): Gear 360. <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-360/>, Zugriff: 16.02.17.) 38

Abbildung 14 - **LG Cam R105** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: LG Electronics (Hrsg.): LG 360 CAM. LGR105. <http://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105.AVRZTS-360-cam>, Zugriff: 16.01.17.)..... 38

Abbildung 15 - **Amkov AMK200S** (Quelle: Amkov.com (Hrsg.): Specifications. <http://amkov.com/show-45-157.html>, Zugriff: 16.02.17.)..... 39

Abbildung 16 - **ALLie Cam GO** (Quelle: B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): ALLie 8MP Day/Night IR 360° Dual Lens Spherical VR Camera (White). https://www.bhphotovideo.com/c/product/1221499-REG/ic_real_tech_ahw10_allie_8mp_day_night_ir.html, Zugriff: 16.02.17.) 39

Abbildung 17 - **Easypix/GoXtreme Full Dome 360** (Quelle: Easypix GmbH (Hrsg.): GoXtreme Full Dome 360°. Turn your world around. <http://www.goxtreme-action-cams.com/de/goxtreme-full-dome-360-2/>, Zugriff: 16.02.17.) 40

Abbildung 18 - **Elephone Elecam360** (Quelle: Elephone Mobile Technology Inc. (Hrsg.): ELECAM 360 Video Camera 360 Degrees Panorama Camera Action Camera. <http://www.elephonestore.com/elecam-360-video-camera-panorama-camera.html>, Zugriff: 16.02.17.) 40

Abbildung 19 - **DETU VR Camera Twin** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Detu.com (Hrsg.): Twin. <http://cam.detu.com/en/twin/specs>, Zugriff: 16.02.17.) 41

Abbildung 20 - **Ricoh Theta SC und S** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Imaging Resource (Hrsg.): Ricoh Theta SC Review. <http://www.imaging-resource.com/PRODS/ricoh-theta-sc/ricoh-theta-sca.HTM#>, Zugriff: 16.02.17. / Tech Prolonged (Hrsg.): "Theta S" Camera shoots & shares 360-degree photos on Google Maps, face-book, twitter etc.. <http://techprolonged.com/2015/09/ricoh-theta-s-spherical-portable-consumer-camera/>, Zugriff: 16.02.17.) 41

Abbildung 21 - **LUNA** (Quelle: Cargocollective.com (Hrsg.): LUNA. <http://cargocollective.com/fon/LUNA>, Zugriff: 16.02.17.) 42

Abbildung 22 - **Insta 360 4K** (Quelle: fotointern.ch (Hrsg.): Insta360 4K: Das Standalone-Modell mit 4K Video. <http://www.fotointern.ch/archiv/2016/08/24/insta-360-nano-aufsteckadapter-macht-aus-dem-iphone-eine-360-grad-kamera/>, Zugriff: 16.02.17.) 42

Abbildung 23 - **Indiecam nakedEYE** (Quelle: INDIECAM GmbH (Hrsg.): nakedEYE. <http://www.indiecam.com/store/nakedeye/>, Zugriff: 16.02.17.) 43

Abbildung 24 - **Sichtfeld einer 4-Optiken-Kamera** (Eigene Darstellung, 2017.) 45

Abbildung 25 - **GoPro Omni** (Quelle: GoPro, Inc. (Hrsg.): Technische Daten. <http://de.shop.gopro.com/EMEA/vr-cameras/omni---all-inclusive/MHDHX-006-EU.html>, Zugriff: 16.02.17.) 48

Abbildung 26 - **DETU VR Camera F4** (Quelle: The Fulldome Blog (Hrsg.): Detu: F4. <https://thefulldomeblog.com/2015/11/17/collection-of-360-video-rigs/>, Zugriff: 16.02.17.) 49

Abbildung 27 - **Humaneyes VUZE** (Quelle: Human Eyes (Hrsg.): VUZE Camera. <http://vuze.camera/>, Zugriff: 16.02.17.) 49

Abbildung 28 - **Sphericam 2** (Quelle: Sphericam Inc. (Hrsg.): Products. <http://www.sphericam.com/sphericam2/>, Zugriff: 16.02.17.) 50

Abbildung 29 - **Nokia OZO** (Quelle: c't Digitale Fotografie (Hrsg.): Nokia startet Verkauf der Virtual-Reality-Kamera Ozo. <https://www.heise.de/foto/meldung/Nokia-startet-Verkauf-der-Virtual-Reality-Kamera-Ozo-3029093.html?hg=1&hgi=4&hgf=false>, Zugriff: 17.02.17.) 50

Abbildung 30 - **Orah 4i** (Quelle: B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): Orah 4i Live Spherical VR Camera, https://www.bhphotovideo.com/c/product/1244320-REG/orah_4i_live_vr_camera.html, Zugriff: 16.02.17.) 51

Abbildung 31 - **Bublcam** (Quelle: Bubl (Hrsg.): Products. <https://www.bublcam.com/products/bublcam>, Zugriff: 16.02.17.) 51

Abbildung 32 - **Facebook Surround 360** (Quelle: facebook360 (Hrsg.): facebook SURROUND 360. <https://facebook360.fb.com/facebook-surround-360/>, Zugriff: 16.02.17.) 52

Abbildung 33 - **Jaunt ONE J1-24G** (Quelle: Radiant Images (Hrsg.): JAUNT ONE. <http://radiantimages.com/virtual-reality/vr360/1045-jaunt-one>, Zugriff: 16.02.17.) 53

Abbildung 34 - **Immersion und Realismus** (Quelle: Lytro (Hrsg.): A Seminal Day in VR: Announcing Moon. <http://blog.lytro.com/vr-announcing-moon/>, Zugriff: 18.02.17.) 55

Abbildung 35 - **6 Degrees of Freedom** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Solve for Interesting (Hrsg.): 24H IN VR 0:00-0:23: ELECTRIC MONK. <http://solveforinteresting.com/24h-in-vr-000-023-electric-monk/>, Zugriff: 18.02.17.)..... 56

Abbildung 36 - **Lytro Immerge Kamerakopf** (Quelle: t3n (Hrsg.): Lytro Immerge: Die Virtual-Reality-Kamera für das Kino von morgen. <http://t3n.de/news/lytro-immerge-654223/>, Zugriff: 18.02.17.) 57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Übersichtstabelle 360°-Videoaufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	11
Tabelle 2 - Punktebewertung (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	12
Tabelle 3 - Beispiel Bewertungsmatrix Sensorauflösung (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	13
Tabelle 4 - Übersichtstabelle der Bewertungskriterien (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	32
Tabelle 5 - Gewichtung weitwinkelbasierte Systeme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	34
Tabelle 6 - Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/3 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	35
Tabelle 7 - Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/3 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	35
Tabelle 8 - Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 3/3 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	36
Tabelle 9 - Platzierung weitwinkelbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	36
Tabelle 10 - Gewichtung mosaikbasierte Systeme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	46
Tabelle 11 - Nutzwertberechnung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	47
Tabelle 12 - Nutzwertberechnung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	47
Tabelle 13 - Platzierung mosaikbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	48
Tabelle 14 - Darstellung gruppenbezogener Daten (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	59

1 Einleitung

360°-Videos ermöglichen dem Rezipienten in eine andere Umgebung einzutauchen und Erlebnisse an anderen Orten von zu Hause aus zu betrachten – egal ob ein Livekonzert mit den Beatsteaks, eine Achterbahnfahrt oder einen Blick in den Nachthimmel. In ein solches Video einzutauchen, soll sich für den Rezipienten anfühlen, als wäre er nicht nur der Betrachter, sondern mitten im Geschehen.

In einer computergenerierten Welt in alle Richtungen schauen zu können und mit seiner Umwelt sogar interagieren zu können ist lange nichts Neues mehr. Aber auch 360°-Bilder sind nichts Neues. Im Gegenteil: Es wurde schon Ende des 19. Jahrhunderts mit einem Filmsystem namens Cinéorama versucht, ein 360° Panorama festzuhalten.¹ Bevor es kompakt verbaute, vollständig synchronisierte 360°-Kameras gab, konnten sphärische Aufnahmen mithilfe von rotierenden Kamerahalterungen erstellt werden. Dabei wurden Bilder nacheinander in verschiedene Richtungen aufgenommen und nachträglich zusammengefügt.

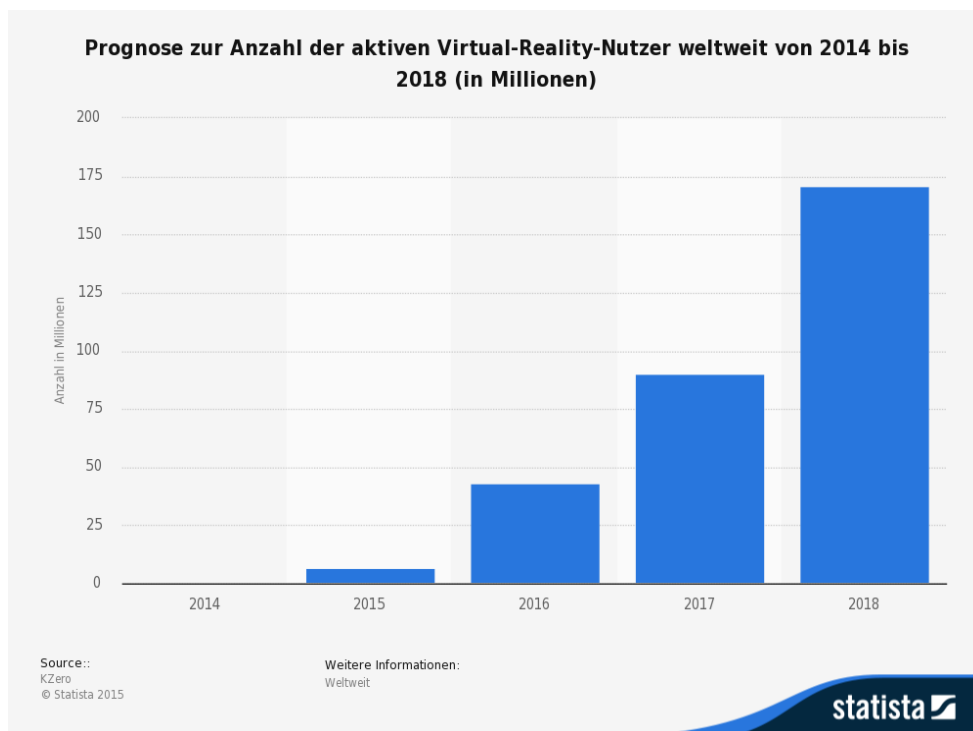


Abbildung 1 - **Prognose zur Anzahl der aktiven VR – Nutzer weltweit.** (Quelle: Statista GmbH (Hrsg.): Prognose zur Anzahl der aktiven Virtual-Reality-Nutzer weltweit von 2014 bis 2018 (in Millionen). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/426237/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-aktiven-virtual-reality-nutzer-weltweit/>, Zugriff: 24.01.17

¹ Vgl. Lexikon der Filmbegriffe (Hrsg.): Cinéorama. <http://filmlexikon.uni-kiel.de/index.php?action=lexikon&tag=det&id=2260>, Zugriff: 14.02.17.

Um hingegen 360°-Bewegtbilder aufzunehmen, bedarf es einer simultanen Aufnahme in alle Richtungen. Wie die Prognose in Abbildung 1 zeigt, wird die Anzahl der aktiven Nutzer von Virtual Reality (VR) bis 2018 stetig steigen. Voraussetzung für VR ist ein Videoinhalt in 360°. Daher steigt das Interesse an Kameras zur Erstellung von 360°-Videos stetig – sowohl seitens der professionellen Filmindustrie, als auch seitens der Amateurfilmer. Darauf reagieren Kamerahersteller wie Nikon Corporation, GoPro Inc. oder die Eastman Kodak Company mit Kameramodellen zur Aufnahme von 360°-Videos. Viele dieser Modelle wurden erst auf der Consumer Electronics Show (CES) im Januar dieses Jahres bekanntgegeben. Ein Überblick oder ein Vergleich von Modellen wird daher erschwert.

Es existieren bereits Vergleiche von 360°-Kameras, diese umfassen aber bei weitem nicht das gesamte Spektrum der angebotenen Kameras. In diesen Vergleichen werden meist drei bis fünf Kameras gelistet. Es gibt jedoch aktuell deutlich mehr Kamerasysteme, die 360°-Videos aufnehmen können. Was den meisten Vergleichen fehlt, oder durch die geringe Anzahl an Modellen hinfällig wird, ist eine klare Unterteilung der Kameras in Untergruppen. Somit werden hochpreisige Systeme mit vielen Sensoren, wie zum Beispiel die Kamera Panono, mit niederpreisigen Systemen mit wenigen Sensoren, wie zum Beispiel mit der Ricoh Theta S, verglichen.²

Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen Überblick von aktuell verfügbaren 360°-Videoaufnahmesystemen zu schaffen, bei dem die Kameramodelle innerhalb sinnvoller Gruppen verglichen werden. Die Arbeit soll außerdem Hilfestellung zur Auswahl eines Kameramodells geben. In dieser Arbeit wird die Kameragruppe erörtert, welche die besten Voraussetzungen zur Aufnahme von 360°-Videos besitzt und neben einem günstigen Preis eine gute Handhabung verspricht. Anschließend soll die Sinnhaftigkeit eines Vergleiches über die Gruppengrenzen hinaus diskutiert werden.

² Vgl. 360-Grad-Kamera-Vergleich.de (Hrsg.): 360 Grad Kamera Vergleich. <http://360-grad-kamera-vergleich.de/360-grad-kamera-vergleich/>, Zugriff: 13.02.17.

2 Vorgehensweise

Da dieser Vergleich auf rein theoretischer Basis erfolgt, kann lediglich der bekannte Zusammenhang zwischen der vorhandenen Hardware einzelner Kameramodelle und der Qualität des sphärischen Videos einbezogen werden. Dabei ist das höchste zu erreichende Ziel von 360°-Videos eine maximale Immersion. Das bedeutet, dass die Videos möglichst echt aussehen und demnach der Sehgewohnheit des Menschen angepasst sein sollen. Dafür sind unter anderem eine maximale Videoauflösung, ein fehlerfreies Bild und ein möglichst unsichtbarer Übergang zwischen den Bildern der einzelnen Sensoren notwendig.

In der Bachelorarbeit wird auf folgende Fragestellungen eingegangen:

- Wie kann man aktuelle 360°-Kamerasysteme sinnvoll in Gruppen einteilen?
- Welche Kriterien sind für die Bewertung eines Kameramodells bestimmend und wie kann man diese Kriterien bewerten?
- Welches der Kamerasysteme ist in Bezug auf alle festgelegten Kriterien das Beste?
- Inwiefern lassen sich Kamerasysteme über ihre Gruppengrenzen hinaus vergleichen?

Als Vergleichsmethode wird die Nutzwertanalyse angewendet, welche in Kapitel 1 erläutert wird.

Mit den 360°-Kameras soll ein Material produziert werden können, dass den Ansprüchen einer Videoproduktion im Bereich der Unterhaltungsmedien genügt. Das 360°-Video soll über eine VR-Brille betrachtet werden können, da diese das optimale Betrachtungsmedium ist.³

³ Vgl. Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016, S.17.

3 Definitionen

Im Folgenden werden Begriffe erläutert, die für ein Grundverständnis von 360°-Videos von Bedeutung sind.

Field of View

Ein wichtiger Parameter bei 360°-Kameras ist Field of View (FoV). Es ist einfach übersetzt das Sichtfeld, beispielsweise einer Kamera. Das FoV wird durch Bildwinkel beschrieben, welche als Angle of View (AoV) bezeichnet werden. Ein AoV wird in der Abbildung 2 mit α bezeichnet und in Grad angegeben.

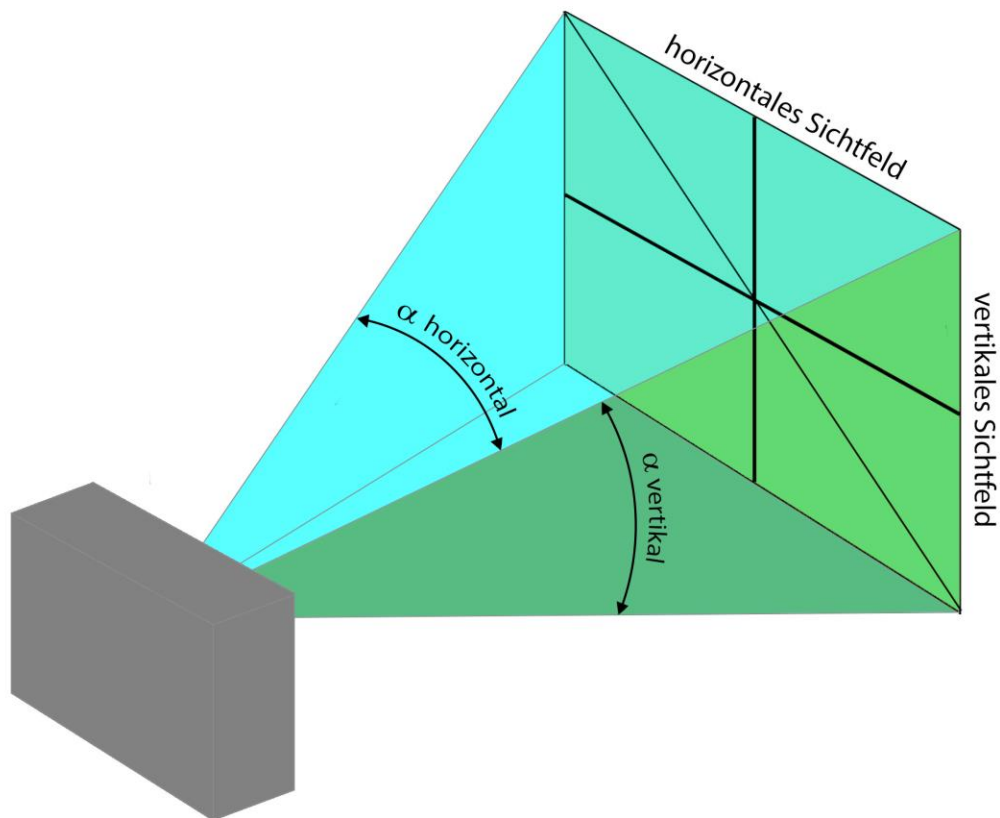


Abbildung 2 - **Schematische Darstellung des Sichtfeldes einer Kamera** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Der AoV kann horizontal, vertikal und diagonal angegeben werden. Um ein FoV zu beschreiben, werden entweder der vertikale und der horizontale Bildwinkel oder der diagonale Bildwinkel angegeben. In Abbildung 2 wird das Sichtfeld durch den horizontalen und den vertikalen Bildwinkel schematisch dargestellt. Der graue Kasten stellt dabei eine beliebige Kamera dar. Da sich der Bildwinkel α aus der Größe des Bildsensors S und der Brennweite f des Kamerasystems ableitet, kann dieser mittels

Strahlensatz und der trigonometrischen Formeln hergeleitet und wie folgt beschrieben werden:

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{S}{2f}$$

Formel 1 - Bildwinkel

Formel 1 gilt sowohl für den vertikalen, horizontalen, als auch den diagonalen Bildwinkel. Anhand verschiedener Herstellerangaben kann also das FoV einzelner Kameramodelle ermittelt werden, falls es nicht direkt angegeben sein sollte. Bei einer direkten Angabe des Sichtfeldes wird meist der diagonale AoV angegeben.

Kameras können sich in der Größe ihres Sichtfeldes unterscheiden. Das Sichtfeld bestimmt, welcher Ausschnitt der Umgebung und die darin enthaltenen Objekte aufgenommen wird. Umso größer das FoV einer Kamera, desto mehr kann von der Umgebung wahrgenommen werden. Dabei spielt das Objektiv neben der Sensorgröße eine große Rolle.

Was bedeutet 360°?

Mit der Angabe 360° wird ein AoV beschrieben. In der vorliegenden Arbeit werden Kamerasysteme betrachtet mit denen man ein sphärisches Bild aufnehmen kann. Dabei muss der Bildwinkel einer Kamera 360° horizontal x 360° vertikal betragen. Während vereinzelt die Bezeichnung 720° für sphärische Bilder verwendet wird, ist der Begriff eines 360°-Bildes deutlich verbreiteter.

Es werden viele Kameras angeboten, welche als 360° Kameras vermarktet werden. Tatsächlich nimmt jedoch nicht jede dieser Kameras ein sphärisches Bild auf. In dieser Arbeit werden lediglich Kameras betrachtet, welche eine **volle sphärische Darstellung** mit einem FoV von **360° horizontal x 360° vertikal** aufnehmen können.

Zudem existieren Verfahren 360°-Videos stereoskopisch aufzunehmen. Dabei kann der Produzent eines solchen Videos einen 3D – Effekt erzielen. Aufgrund dessen wird diese Art des Bewegtbildes als 3D 360° Video bezeichnet.

Beim Betrachten eines 360°-Videos kann der Rezipient in alle Richtungen schauen, kann seinen Standort jedoch nicht verändern. Die Kopfposition ist also fixiert, den Sichtwinkel kann der Betrachter des Videos frei wählen.

Was bedeutet VR?

VR ist die Abkürzung für virtuelle Realität. Beim Betrachten eines VR-Videos kann der Rezipient nicht nur seinen Bildwinkel frei wählen, sondern außerdem seine Position verändern und sich in der virtuellen Umgebung bewegen.

Das Ziel von VR ist es, einen möglichst hohen Grad an Immersion zu erzeugen. Das bedeutet, dem Betrachter eines VR-Videos das Gefühl zu vermitteln, selbst die agierende Person im Video zu sein. Je mehr der Rezipient im Video interagieren kann, desto höher ist der Grad der Immersion. Dazu muss diese virtuelle Realität möglichst der visuellen Wahrnehmung des Menschen entsprechen. Da der Mensch durch seine zwei Augen stereoskopisch sehen kann, ist ein stereoskopisches Bild für VR-Inhalte eine zwingende Voraussetzung. Daher ist die Bezeichnung eines solchen Videos als „3D VR“ überflüssig.

Definition 360°-Videoaufnahmesystem

Unter dem Begriff 360°-Videoaufnahmesystem wird im Rahmen dieser Arbeit folgendes verstanden: Ein System, welches sich einer bestimmten Technologie bedient, mit der es möglich ist Videomaterial mit einem FoV von 360° horizontal x 360° vertikal aufzunehmen. Obwohl die Modelle aus mehr als einem Kameramodul bestehen, wird hier dennoch der Begriff 360°-„Kamera“ dafür verwendet.

Eine 360°-Kamera muss alle Komponenten einer konventionellen Kamera besitzen, um eine Videoaufnahme zu gewährleisten. Dazu gehören hauptsächlich eine Optik mit einer oder mehreren Linsen, sowie ein Sensor, auf welchen das Bild projiziert wird.⁴

Die hier betrachteten Kamerasysteme sind in der Lage, auf einen Knopfdruck eine Videoaufzeichnung zu starten. Es werden demnach keine reinen Kamerarigs betrachtet, bei denen die Kameras nicht vollsynchronisiert bedienbar sind. Das 360°-Kamerarig GoPro Omni™ wird durch seine Synchronisierung in den Vergleich einbezogen.

⁴ Vgl. Schreer, Oliver: Stereoanalyse und Bildsynthese. Berlin Heidelberg, 2005, S. 38.

Weitwinkelobjektive

„Die Einteilung der Objektive erfolgt nach der Brennweite in Tele-, Normal- und Weitwinkelobjektive. Für das Kleinbildformat 24 x 36 mm betragen die Werte:

- $f = 28 \text{ mm}$ Weitwinkelobjektiv
- $f = 50 \text{ mm}$ Normalobjektiv
- $f = 135 \text{ mm}$ Teleobjektiv⁵

Nach Formel 1 ist der Bildwinkel direkt von der Brennweite abhängig. Für eine Brennweite von 17 mm beträgt der horizontale Bildwinkel einer Kleinbildkamera demzufolge 180°. Dabei unterscheidet man weiterhin zwischen gemäßigten Weitwinkelobjektiven und Superweitwinkelobjektiven.

Bei Weitwinkelobjektiven kann eine Verzerrung der Geometrie einzelner Objekte auftreten. Diesen Bildfehler nennt man Verzeichnung.⁶ Während diese Weitwinkelobjektive möglichst frei von dieser Art des optischen Fehlers sein sollen, ist der Effekt der tonnen- bis kreisförmigen Verzeichnung bei Fischaugenobjektiven beabsichtigt und wird nicht korrigiert. Dabei können die Brennweiten der Fischaugenobjektive auch denen der Superweitwinkelobjektive entsprechen.

⁵ Böhlinger, Joachim / Bühler, Peter / Schlaich, Patrick: Kompendium der Mediengestaltung. für Digital und Printmedien. Berlin Heidelberg, 2006, S. 286.

⁶ Vgl. Gerhard, Christoph: Tutorium Optik. Ein verständlicher Überblick für Physiker, Ingenieure und Techniker. Berlin-Heidelberg, 2016, S. 144.

4 Technische Voraussetzungen

Die Kamera muss in der Lage sein Videomaterial aufzuzeichnen. Dementsprechend müssen Sensor und Speicherkarte des Kameramodells fähig sein, Bewegtbildmaterial aufzunehmen. Kameras, welche nur 360°-Fotos aufnehmen können, werden nicht in den Vergleich einbezogen. Die Kamera Panono der Panono GmbH wird damit nicht im Vergleich betrachtet.

Die Kameras müssen nicht die Fähigkeit besitzen, Audiodaten aufzuzeichnen. Ein integriertes Mikrofon ist also nicht notwendig.

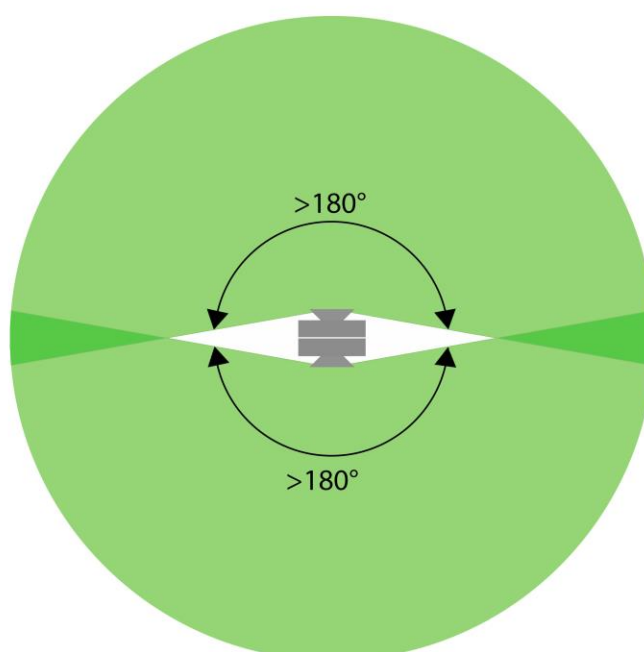


Abbildung 3 - **Bildwinkel 360°-Kamera** (Quelle: Eigene Darstellung. in Anlehnung an Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016.)

Um eine sphärische Darstellung aufzunehmen, benötigt man eine 360°-Kamera mit mindestens zwei Optiken, da es momentan noch nicht möglich ist mit einem Objektiv ein 360° FoV abzudecken. Dabei muss jede Optik einen AoV abdecken, der mindestens 185° beträgt⁷. In Abbildung 3 ist ein solcher Aufbau dargestellt. Dabei ist der dunkelgrüne Bereich, der Überschneidungsbereich der Sichtfelder. Beim Zusammenfügen der einzelnen Bilder zu einer sphärischen Darstellung, dem so genannten Stitching⁸,

⁷ Vgl. Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016, S. 5.

⁸ Vgl. Xing, Jing / Miao, Zhenjiang / Chen, Jing: An Algorithm for Seamless Image Stitching and Its Application. Berlin Heidelberg, 2007, S. 85.

müssen Bildpunkte mehrfach vorkommen. Diese befinden sich in den sich überschneidenden Bereichen des Bildes.

Die Kameras sollen möglichst selben Typs und baugleich sein, um einen komplizierten Bildabgleich in der Postproduktion zu vermeiden. Aus demselben Grund müssen die internen Parameter der Kamera aufeinander abgestimmt sein, solange diese manuell verstellbar sind. Dabei sollte vor allem auf die Einstellungen folgender Parameter geachtet werden:

- Bildauflösung in Pixeln
- Seitenverhältnis
- Framerate
- ISO-Wert.⁹

Eine weitere Festlegung ist die Beschränkung auf One Shot Systeme, also Kameras, welche kompakt verbaut sind und mit einem Knopfdruck synchronisiert Videos aufnehmen können. Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, existieren ebenfalls Multikamerasysteme, welche mit Kamerarigs aufgebaut werden können. Da der Markt dieser Systeme durch viele Eigenbauten erweitert ist, ist er fast unüberschaubar geworden. Multikamerasysteme werden deswegen nicht mit in den Vergleich einbezogen. Falls ein stereoskopisches 360°-Video aufgenommen werden soll muss die 360°-Kamera über zwei Optiken pro Sichtwinkel verfügen.

Da die technischen Voraussetzungen je nach Aufnahmeverfahren variieren, werden die Funktionsweisen dieser Aufnahmeverfahren in den jeweiligen Kapiteln genauer beschrieben.

⁹ Vgl. Urban:trends GmbH (Hrsg.): Welche Kameraeinstellungen für mein 360 Grad Video?.
<https://www.camforpro.com/blog/welche-kameraeinstellungen-fuer-mein-360-grad-video/>, Zugriff:
30.01.17.

5 Vergleichsmethode

Zum Vergleichen wird das Prinzip der Nutzwertanalyse (NWA) angewendet. Für einen Vergleich wie diesen ist die Nutzwertanalyse sinnvoll, da die Anzahl der Bewertungskriterien hoch ist und diese Kriterien sowohl qualitativer als auch quantitativer Art sind.¹⁰

Die notwendigen Schritte sind an das Kapitel „Das Vorgehen bei der Nutzwertanalyse“ aus dem Buch Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb¹¹ angelehnt und beschreiben das Vorgehen in dieser Arbeit:

Schritt 1 – Benennung des Entscheidungsproblems

Um nach dem Prinzip der NWA ein Bewertungssystem festzulegen, muss zuerst die Zielsetzung definiert werden. Das Ziel des Vergleiches ist es, das Kamerasystem zu ermitteln, welches die besten Voraussetzungen zur Aufnahme von 360°-Videos für Unterhaltungsmedien besitzt und dabei bei einem günstigen Preis eine gute Handhabung verspricht. Dies gilt jeweils für eine festgelegte Gruppe von Kameramodellen.

Schritt 2 – Auswahl der Entscheidungsalternativen

Dazu werden Kameramodelle als Entscheidungsalternativen zusammengetragen und in Gruppen eingeteilt. Für die Auswahl wurde in Kapitel 1 festgelegt, welche Kameramodelle in den Vergleich aufgenommen werden sollen. Eine Auflistung der Kameras (Tabelle 1) wurde dafür erstellt und mit einigen Kennwerten, wie zum Beispiel Anzahl der Linsen, Erscheinungsdatum und Preis, ergänzt:

¹⁰ Vgl. Kühnapfel, Jörg B.: Nutzwertanalysen im Marketing und Vertrieb. Wiesbaden, 2014, S. 2.

¹¹ Vgl. Kühnapfel, Jörg B.: Nutzwertanalysen im Marketing und Vertrieb. Wiesbaden, 2014, S. 5 ff.

Hersteller	Modellname	Jahr	Linsen	FOV	Preis
ALLie	ALLie Cam		2		500 USD
Amkov	AMK200S		2		ca 100 €
Bubl	Bublcam		4		799 USD
DETU	VR Camera F4		4		1.799 USD
DETU	VR Camera Twin		2		209-269 USD
Elephone	Elecama 360		2		140 USD
Facebook	Surround 360	Apr 16	17		>>30.000 USD
GoPro	Omni	2016	6		5.399,99 €
GoXtreme	Full Dome 360	Sep 16	2		230 €
Human eyes	VUZE	Aug 16	8	3D 180°ver X 120°hor	799 USD
Indiecam	nakedEYE	Sep 16	2		9.500 €
Insta360	Insta 360 4K		2	2x 230° Fisheye	366 €
Insta360	Insta 360 Pro	1Q 2017	6		2.999 USD
Jaunt	ONE J1-24G	2015	24	130° diagonal	4.500\$ per day
Kodak	Pixpro ORBIT360 4K	Jan 17	2		ca 500 €
LG	360 Cam R105		2		200 USD
LUNA	LUNA		2	2x 190°	299 USD
Lytro	Immerge	Nov 15			>>100.000 USD
Nikon	Keymission 360	Jan 16	2		499 €
Nokia	OZO	Q1 16	8		60.000 USD
Orah	Orah 4i	Dez 16	4	full 360° spherical	3.595 USD
Ricoh	Theta S		2		349 €
Ricoh	Theta SC (Nachfolger von M15)	Jan 17	2		300 €
Samsung	Gear 360	Q1 2016	2		299-320 €
Sphericam	Sphericam 2	Jan 16	6		2.999 USD
Sphericam	Sphericam beast		4		>> 3.000 USD
VUZE	Vuze	Mrz 17	8		800-1.000 USD

Stand: 13.01.2017

Tabelle 1 - **Übersichtstabelle 360°-Videoaufnahmesysteme** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Wie in Tabelle 1 zu erkennen, wurde die Übersicht bis zum 13.01.2017 erstellt. Damit beschränkt sich die Aktualität dieser Arbeit ebenfalls auf dieses Datum.

Schritt 3 – Sammlung von Entscheidungskriterien

Im nächsten Schritt soll eine Sammlung von Kriterien entstehen, welche das Problem umfassen. Um die Kriterien bewertbar machen zu können, werden die anzunehmenden Werte definiert. Die Kriterien werden tabellarisch aufgeführt.

Ebenfalls müssen sogenannte KO-Kriterien definiert werden. Bei Nichterfüllen eines KO-Kriteriums scheidet das Kameramodell aus dem Vergleich aus und muss gesondert betrachtet werden. Da bei der Vorauswahl der Kameramodelle bereits darauf geachtet wurde, die technischen Voraussetzungen für die Aufnahme von 360°-Videos zu erfüllen, müssen keine weiteren KO-Kriterien festgelegt werden.

Schritt 4 - Gewichtung der Entscheidungskriterien

Um die Gewichtungen der einzelnen Kriterien zu bestimmen, werden Kriteriengruppen eingeführt. Da bei den Vergleichsgruppen unterschiedliche Parameter angewendet werden, muss für jede Gruppen ein eigenes Wichtungssystem erstellt werden. Für die Bestimmung des Gruppengewichts in Prozent dient eine vorhandene Gewichtung aus der Zeitschrift Stiftung Warentest zum Vorbild. Die Festlegung der Gewichtungstabellen wird zu Beginn des jeweiligen Gruppenvergleichs erläutert.

Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt durch eine Aufteilung von 100% auf die einzelnen Kriterien innerhalb einer Gruppe. Um anschließend das Gesamtgewicht des Kriteriums zu errechnen wurde folgende Formel angewendet:

$$\text{Gesamtgewicht des Kriterium} = \frac{\text{Gruppengewicht} \times \text{Kriteriumsgewicht i. d. G.}}{100}$$

Formel 2 - **Gesamtgewicht des Kriteriums** (i.d.G. = in der Gruppe)

Schritt 5 - Punkteverteilung

Im nächsten Schritt wird eine Punkteskala eingeführt, bei welcher anhand der vergebenen Punkte bestimmt werden kann, zu welchem Maße das Kriterium als positiv oder negativ gewertet werden kann. In dieser Punkteskala können 1 bis 10 Punkte vergeben werden, wobei 1 Punkt ab der untersten Wertgrenze beginnt und als negativ zu werten ist und 10 Punkte die oberste Wertgrenze einbezieht, also den bestmöglichen Wert beschreibt und als positiv zu werten ist.

Punkte	1	...	5	...	10
Bedeutung	negativ /niedrigster Wert	...	neutral /mittlerer Wert	...	positiv /höchster Wert

Tabelle 2 - **Punktebewertung** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Anhand einer Wertungsmatrix wird die Vergabe von Punkten festgelegt. Dafür werden Wertungsmatrizen für jede Vergleichsgruppe erstellt. In diesen Matrizen ergeben sich Punktebereiche. Die Berechnung eines solchen Punktebereiches geschieht über die Differenz des höchsten und des niedrigsten Wertes des Kriteriums, geteilt durch die Anzahl der Punkte, in diesem Fall geteilt durch 10. Die dabei erhaltene Größe des Punktebereiches wird jeweils dem vorherigen Wert, beginnend bei dem Mindestwert, aufsummiert. Mit dieser Angabe wird also der maximale Wert eines Punktebereiches angegeben.

Zum besseren Verständnis wird hierfür ein Beispiel angeführt. Es sei der kleinste Wert der Sensorauflösung innerhalb einer Gruppe 2 Megapixel (MP) und der höchste Wert 20 MP. Es wird angenommen, dass ein hoher Wert als positiv angesehen wird. Dann wird zuerst die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert gebildet: $20 - 2 = 18$. Dieser Wert wird durch die Anzahl der möglichen Punkte geteilt: $18 / 10 = 1,8$. Der dabei erhaltene Wert beschreibt die Größe des Punktebereiches. Um nun den maximal erreichten Wert zu erhalten wird dem vorherigen Wert, beginnend bei dem Mindestwert von 2 MP, die Größe des Punktebereiches aufsummiert. Der Maximalwert des ersten Punktes ist dementsprechend: $2 + 1,8 = 3,8$. Um den Maximalwert des zweiten Punktebereiches zu erhalten, muss wieder die Summe aus dem vorherigen Wert mit der Größe des Punktebereiches gebildet werden: $3,8 + 1,8 = 5,6$. Wie in Tabelle 3 zu sehen, kann dies bis zum letzten Punktebereich fortgeführt werden.

kleinster Wert /Minimum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	größter Wert /Maximum
2	3,8	5,6	7,4	9,2	11	13	15	16	18,2	20	20

Tabelle 3 - **Beispiel Bewertungsmatrix Sensorauflösung** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Schritt 6 - Bewertung der Entscheidungskriterien

Jedes Kameramodell wird nun innerhalb seiner Gruppe mithilfe der Bewertungsmatrix bewertet. In dem oben aufgeführten Beispiel (siehe Tabelle 3) würde ein Kameramodell mit 10,8 MP Sensorauflösung fünf Punkte erhalten.

Bei der Punktwertvergabe ist zu beachten, dass ein nicht vorhandener Wert durch den Mittelwert aller Werte dieser Kategorie ersetzt wird. Ein Sonderfall tritt ein, wenn mehr als 50% der Werte eines Kriteriums fehlen. In einem solchen Fall sind die Kameramodelle nicht anhand dieses Kriteriums vergleichbar und das Kriterium muss entfallen.

Schritt 7 - Nutzwertberechnung

„Die in Schritt [Bewertung der Entscheidungskriterien] ermittelten Kriterienwerte werden mit den in Schritt [Gewichtung der Kriterien] ermittelten Kriteriengewichten multipliziert. Das Ergebnis sind die Kriterienpunktwerte. Was noch bleibt, ist, die Summe aller Kriterienpunktwerte je Alternative zu bilden.“¹² Diese Summe beschreibt den sogenannten Nutzwert. Umso höher der Nutzwert umso besser das Kameramodell. Das Kameramodell mit dem höchsten Nutzwert kann also als das Beste seiner Vergleichsgruppe bezeichnet werden.

¹² Kühnapfel, Jörg B.: Nutzwertanalysen im Marketing und Vertrieb. Wiesbaden, 2014, S. 19.

6 Einteilung der Systeme in Gruppen

Um Kameras sinnvoll zu vergleichen, müssen sie in Gruppen eingeteilt werden, damit sie mit gleichartigen Kameramodellen verglichen werden können. Daher wird in diesem Kapitel definiert, anhand welcher Parameter eine Einteilung der Kameramodelle erfolgt.

6.1 Aktuelle und historische Einteilungen

Bisher erfolgte ein Vergleich von 360°-Kameras hauptsächlich nach Anwendern gruppiert in Consumer und professionelle Kameraanwender. Eine Abgrenzung dieser Gruppen wird dabei lediglich über den Preis der Kameras bestimmt.

Im Gegensatz dazu teilt der 360°-Kamera-Club die Kameratypen folgendermaßen ein:

- 360°-Actionkameras,
- 360°-Kameras für Standardsituationen,
- professionelle 360°-Kameras,
- 360°-Smartphonekameras,
- 360°-Multikamerasysteme und
- 3D 360°-Kameras.¹³

Ursprünglich wurden Kameras, die in der Lage sind, ein omnidirektionales Bild aufzunehmen, in vier verschiedene Gruppen eingeteilt:

- Kameras mit Spiegel,
- Rotierende Kameras,
- Multikamerasysteme und
- One Shot Kameras.

¹³ Vgl. 360-grad-kamera.club (Hrsg.): 360° Kamera – Infos und News. <https://360-grad-kamera.club/>, Zugriff: 07.02.17.

6.2 Einteilung in dieser Arbeit

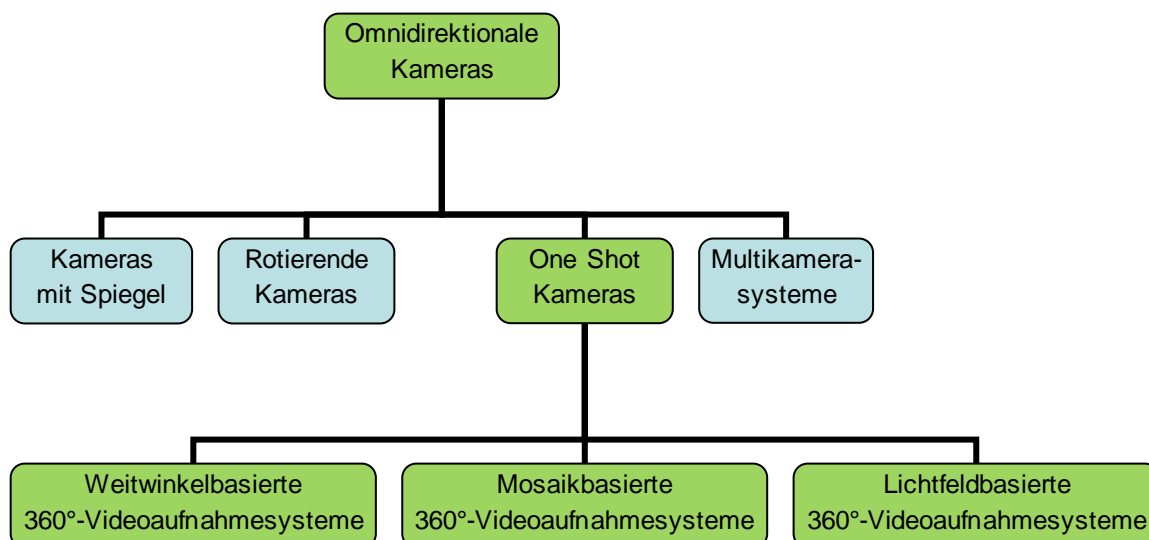


Abbildung 4 - **Einteilung omnidirektionaler Kameras** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Die in Abbildung 4 dargestellte Einteilung leitet sich von der verwendeten Technologie, um ein Rundumbild zu erstellen, ab. Diese Arbeit behandelt jedoch lediglich die Gruppe der One Shot Kameras. Diese sind neben den Multikamerasystemen die aktuell relevante Technik um 360°-Videos zu erstellen. Rotierende Kameras sind aufgrund der zu niedrigen Rotationsgeschwindigkeit nicht in der Lage, ein Video zu erstellen, während Kamerasysteme mit Spiegeln kein sphärisches Bild ohne Lücken aufnehmen können. Unter Multikamerasystemen sind mehrere Kameras gleichen Typs zu verstehen, die in verschiedenen Blickrichtungen auf einem Kamerarig verbaut werden. Die dabei entstandenen Bilder müssen in der Postproduktion gestitcht werden, um ein vollsphärisches Bild zu erhalten. Dabei sind solche Rigs gerade für die GoPro Hero 4 bis zu einer Anzahl von bis zu 24 Kameras aufrüstbar.¹⁴

Auf der unteren Ebene des Schemas (siehe Abbildung 4) wird eine Einteilung der Kameras in drei Hauptgruppen, die sich durch die verwendete Technologie des Aufnahmeverfahrens ergeben, vorgenommen.

¹⁴ Vgl. 360Heros Inc. (Hrsg.): The Bullet360 Control Board System for 360 Video Rigs. <http://shop.360rize.com/category-s/1849.htm>, Zugriff: 07.02.17.

6.2.1 Weitwinkelbasiertes 360°-Aufnahmesystem

Ein weitwinkelbasiertes 360°-Aufnahmesystem darf maximal zwei Kameraoptiken besitzen. Um ein vollsphärisches Bild aufnehmen zu können, muss das FoV einer jeden Optik mindestens 185° betragen. Der Name „Weitwinkelbasiertes 360°-Aufnahmesystem“ wurde gewählt, da die verwendeten Optiken zwangsweise weitwinklig sein müssen um die technischen Voraussetzungen zu erfüllen.

Da aktuell verfügbare Kameramodelle dieser Art größtenteils in einem relativ engen Preisrahmen verfügbar sind, wird diese Gruppe nicht noch einmal unterteilt. Der unterste Wert dieses Preisrahmens beträgt ca. 100 € für das Kameramodell AMK200S von Amkov.¹⁵ Der oberste Wert beträgt ca. 550 € für die Kamera ALLie Cam.¹⁶ Allerdings wird derzeit noch ein Kamerasystem angeboten, dessen Preis als Ausreißer betrachtet werden kann. Dieses Kameramodell heißt nakedEYE und wird vom Hersteller INDIECAM GmbH zu einem Preis von 9500 € angeboten.¹⁷ Dieses wird nicht in den direkten Vergleich einbezogen und einzeln betrachtet.

6.2.2 Mosaikbasiertes 360° - Aufnahmesystem

Ein Kameramodell, welches zur Gruppe der mosaikbasierten 360°-Aufnahmesysteme gehört, muss mindestens drei Kameraoptiken besitzen. Je nach Anordnung, Ausrichtung und Anzahl der Kameraoptiken kann der Wert des Sichtwinkels auch kleiner als 185° sein. Daher muss ein solches Kameramodell nicht zwangsweise weitwinklige Optiken besitzen. Der Name „Mosaikbasiertes 360°-Aufnahmesystem“ wurde gewählt, weil die Einzelbilder der Kamera beim Stitching wie ein Mosaik zusammengesetzt werden, um ein sphärisches Bild zu erhalten.

Da mosaikbasierte 360°-Kameras mehr als zwei Optiken besitzen können, lassen sich diese anhand der Anzahl der Kameraoptiken einteilen. Dabei entsteht nach Vorüberlegungen dieser Arbeit folgende Untergruppe:

- Kameramodelle mit 4-8 Optiken

¹⁵ Vgl. ChinaPrice (Hrsg.): AMKOV Amk200s. <http://www.chinaprice.de/camera/6590/amkov-amk200s>, Zugriff: 08.02.17.

¹⁶ Vgl. amazon.com, Inc. (Hrsg.): ALLie Home - 360-Grad-Überwachungskamera 4K DoppelobjektivDual 8 Megapixel Sensoren mit maxAuflösung von 4096x2048 Pixel Remote Monitoring Camera Weiss White. <https://www.amazon.de/ALLie-Home-360-Grad-%C3%9Cberwachungskamera-Doppelobjektiv-Monitoring/dp/B01B82OCP2>, Zugriff: 08.02.17.

¹⁷ Vgl. cinema5D (Hrsg.): Indiecama nakedEYE is First Compact VR RAW Camera – 12bit 4k 60p. <https://www.cinema5d.com/indiecama-nakedeye-vr-raw-camera-shoots-12bit-4k-60p/>, Zugriff: 07.02.17.

Auch aus dieser Hauptgruppe gab es zwei Kameramodelle die bei der Anzahl der Kameraoptiken einen Ausreißer zeigten. Daher werden diese zwei Kamerasysteme zu einer weiteren Untergruppe zusammengefasst und separat betrachtet:

- Kameramodelle mit mehr als 8 Optiken.

6.2.3 Lichtfeldbasierte 360°-Aufnahmesysteme

360°-Videos können außerdem auf eine weitere Art aufgezeichnet werden. Die zugrundeliegende Technik ist die Lichtfeldaufnahme, welche durch plenoptische Kameras realisiert werden kann. Da sich die erzeugten Daten einer Lichtfeldkamera nicht durch einfaches Stitching zu sphärischen Videoinhalten zusammenfügen lassen, unterscheidet sich diese Technik in großem Maße von der der beiden anderen Gruppen. Daher wird nachfolgend eine weitere Gruppe – Lichtfeldbasierte 360° - Aufnahmesysteme eingeführt.

7 Einführung der Kriterien

In diesem Kapitel werden verschiedene Kriterien gewählt, die zur Spezifikation der Kameras innerhalb ihrer Gruppen und zum Vergleich der Systeme verwendet werden. Diese Kriterien beschreiben folgende Aspekte:

- die Videoqualität der Kamera,
- die Bedienfreundlichkeit der Kamera,
- die Qualität des sphärischen Videos und
- den Kostenfaktor des Kameramodells.

Zur Bewertung der Kamerasysteme werden messbare Kriterien herangezogen, welche in Datenblättern zu finden sind. Derzeit existieren keine standardisierten Datenblätter für digitale Kameras, welche das Gesamtkonstrukt aus Sensor, Optik, usw. betrachten. Der Standard EMVA 1288 bietet einen Ansatz, welcher jedoch von den Kameraherstellern nicht konsequent verfolgt wurde.¹⁸ In diesem Abschnitt werden deshalb viele Parameter betrachtet und es wird abgewogen, inwiefern diese für die weitere Beurteilung verwendet werden.

Um die Technologien anhand der Kriterien zu vergleichen, muss definiert werden, wie diese Faktoren positiv oder negativ für das System sprechen. Es wird bestimmt, ob ein größerer Wert der jeweiligen Kriterien besser oder schlechter ist.

7.1 Videoqualität

Eine direkte Bewertung der Videoqualität ist anhand von Datenblättern nicht möglich. Indirekt ist dies jedoch durch eine Beurteilung der Hardwaredaten möglich, da diese die Grundlage für die Videoqualität schaffen. Diese werden im Folgenden aufgelistet.

Art der Sensoren

Die wesentlichsten Bauelemente einer 360°-Kamera sind die Sensoren. Die Sensoren einer Videokamera können sich durch ihre Art und Größe unterscheiden. Dabei wird hauptsächlich in CCD-, CMOS-Sensoren und den Foveon-X3-Sensor unterteilt. Da die meisten 360°-Videoaufnahmesysteme mit CMOS-Sensoren versehen sind, ist hier keine Wertung möglich. Beispielhaft sind dafür die Kamera Orah 4i mit vier Sony CMOS

¹⁸ Vgl. WEKA Fachmedien GmbH (Hrsg.): Charakterisierung von Bildsensoren und Kameras. Der Standard EMVA 1288. <http://www.elektroniknet.de/elektronik/automation/der-standard-emva-1288-84380.html>, Zugriff: 03.02.17.

Exmor Sensoren¹⁹, die Kamera Nikon Keymission 360 mit zwei CMOS-Sensoren²⁰ und die Kamera Amköv AMK - 200S mit ebenfalls zwei CMOS-Sensoren²¹ zu nennen.

Sensorgröße

Die Sensorgröße beeinflusst viele Parameter einer Kamera, welche im Folgenden ebenfalls zur Bewertung dienen und sich auf die Qualität des Videos auswirken. Unter anderem wird durch die Sensorgröße der FoV einer Kamera bestimmt. „Die Größe eines lichtempfindlichen Sensors wird durch seine Diagonale gekennzeichnet. Allerdings ist dabei zu beachten, dass unterschiedliche Seitenverhältnisse verwendet werden.“²² Die Sensorgröße wird in Zoll angegeben.

Umso größer der Sensor, desto höher kann die Auflösung des Videos und damit die Detailliertheit des Videos sein. Ein großer Wert wird daher als positiv gewertet.

Anzahl der Sensoren

Für die Bewertung von 360°-Videosystemen ist außerdem die Anzahl der Sensoren entscheidend. Da sich die Gesamtauflösung des 360°-Videomaterials aus den Auflösungen jedes Sensors zusammensetzt, wirkt sich eine größere Anzahl positiv auf die Qualität des 360°-Videos aus und wird dementsprechend gewertet.

Sensorauflösung

Die Auflösung einer Kamera kann ausreichend durch die Anzahl der Pixel des Sensors angegeben werden.²³ Die Angabe geschieht hierbei in Megapixel (MP). Ein MP entspricht einer Million Pixel. Obwohl die Auflösung des Sensors allein noch nicht die Qualität eines Bildes ausmacht, ist sie doch eine Grundvoraussetzung. Dabei gilt: Je höher die Anzahl der Pixel, desto besser. Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Anzahl der Pixel mit der Größe des Sensors korrelieren sollte. Durch eine hohe Anzahl von Pixeln auf einem kleinen Sensor, wird die Größe der einzelnen Pixel kleiner und der Sensor dementsprechend lichtschwächer. Aus diesem Grund kann dieses Kriterium nur mit geringerer Wichtung in die Bewertung eingehen als die der Sensorgröße.

¹⁹ Vgl. Orah (Hrsg.): Technical Specifications. <https://www.orah.co/tech-specs/>, Zugriff: 01.02.17.

²⁰ Vgl. Nikon GmbH (Hrsg.): Technische Daten der Keymission 360.

http://www.nikon.de/de_DE/products/action_cameras/keymission_360_missions.page#specifications,
Zugriff: 01.02.17.

²¹ Vgl. Amkov.com (Hrsg.): Specifications. <http://amkov.com/show-45-157.html>, Zugriff: 01.02.17.

²² Walter, Thomas: MediaFotografie – analog und digital. Begriffe, Techniken, Web. Berlin Heidelberg, 2005, S.80.

²³ Vgl. Walter, Thomas: MediaFotografie – analog und digital. Begriffe, Techniken, Web. Berlin Heidelberg, 2005, S.125f.

Die max. Auflösung eines Sensors kann ebenfalls Aufschluss über die maximal erreichbare Videoauflösung geben. Auch deshalb wird eine große Sensorauflösung als positiv gewertet.

Videoauflösung

Außerdem muss die maximale Videoauflösung angegeben werden, zu welcher die Kamera fähig ist. Diese wird in Pixeln angegeben und kann, je nach Seitenverhältnis des Bildes, verschieden große Werte annehmen. Da viele Hersteller für die Angabe der Auflösung „2K“ oder „4K“ angeben, müssen diese Werte definiert werden. Bei einem Seitenverhältnis von 16:9 entspricht 2K einer Auflösung von 2048 x 1152 Bildpunkten, während 4K einer Auflösung von 4096 x 2160 Bildpunkten entspricht.²⁴

Hierbei muss zwischen der Auflösung des einzelnen Kamerabildes und der effektiven Pixelanzahl des sphärischen 360°-Videomaterials unterschieden werden. Da beim Betrachten eines sphärischen Videos nur ein Ausschnitt des aufgezeichneten Materials angeschaut wird, sinkt die Auflösung in diesem Bildausschnitt.

Ein großer Wert der Videoauflösung steht für viele Bildpunkte und wird als positiv gewertet.

Sensorempfindlichkeit (ISO)

Die Lichtempfindlichkeit des Sensors wird als ISO-Wert angegeben. Je höher der ISO-Wert ist, desto höher ist die Lichtempfindlichkeit des Sensors. Da bei digitalen Bildsensoren der ISO-Wert meist verstellbar ist, ist eine Betrachtung der nativen Sensorempfindlichkeit notwendig. Diese wird meist im Datenblatt einer Kamera vom Hersteller angegeben und bezeichnet den ISO-Wert, mit welchem der Sensor den größten Dynamikumfang liefert. Ein hoher nativer ISO-Wert bedeutet dabei, dass der Sensor empfindlicher auf Licht reagiert und damit in lichtarmen Situationen dennoch gute Bilder liefern kann. Eine grundsätzliche positive oder negative Bewertung wird jedoch nicht gegeben.

Dynamikumfang

Der Dynamikumfang (engl. dynamic range) ist die Differenz zwischen Minimum und Maximum der messbaren Lichtintensitäten des Sensors. Er wird in Dezibel (dB) angegeben. In den dunklen Bereichen des Bildes wird der Dynamikumfang durch die

²⁴ Vgl. Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016, S.26.

Rauschgrenze des Sensors begrenzt, während er in den hellen Bereichen des Bildes durch die Sättigungsgrenze des Kamerasensors limitiert ist.²⁵



Abbildung 5 - **Rektangulärprojektion von 360°-Material einer Ricoh Theta S** (Quelle: Ricoh Company, Ltd (Hrsg.): THETA. Birthday Party in Japan. <https://theta360.com/spheres/samples/532f020e-4569-11e5-a824-064087ff3472-1>, Zugriff: 03.02.17.)

Je nach Kamerawinkel spielen bei der Aufnahme von 360°-Videos unterschiedlichste Lichtsituationen eine Rolle, wie beispielsweise in Abbildung 5 zu sehen ist. Dadurch können große Helligkeitsunterschiede auftreten.

Ein möglichst großer Dynamikumfang bei 360°-Kameras ist daher unerlässlich und wird als positiv gewertet.

Bildfrequenz

„In der Filmtechnik bezeichnet man mit dem Begriff Bildfrequenz die Anzahl der aufgenommenen [...] Bilder pro Sekunde.“²⁶ Sie kann in Herz (Hz) oder in Frames per Second (fps) angegeben werden. Dabei wird die maximale Anzahl der Bilder pro Sekunde meist durch die Hardware der Kamera begrenzt. Bei gleicher Bildauflösung gilt, dass eine höhere Anzahl an Bildern pro Sekunde als positiv gewertet wird.

²⁵ Vgl. Winner, Hermann et al.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Wiesbaden, 2015, S. 354f.

²⁶ Jaklitsch, Walter: Handbuch der Laufbildfotografie. Wien, 2004, S.270.

Brennweite

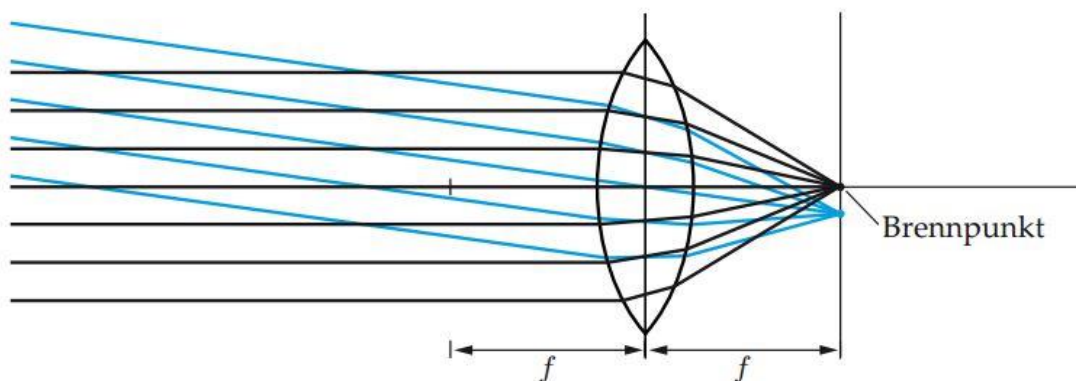


Abbildung 6 - **Brennweite und Brennpunkt** (Quelle: Beyerer, Jürgen; Puente León, Fernando; Frese, Christian: *Automatische Sichtprüfung. Grundlagen, Methoden und Praxis der Bildgewinnung und Bildauswertung*. Berlin Heidelberg, 2012, S.192.)

„Die Brennweite beschreibt vereinfacht ausgedrückt den Abstand zwischen einer optischen Komponente und dem Punkt, an dem parallel zur optischen Achse einfallende Lichtstrahlen durch diese optische Komponente gebündelt werden.“²⁷ Sie wird in mm angegeben und mit dem Formelzeichen f beschrieben. Da die Brennweite ein Parameter zur Bestimmung des FoV einer Kamera ist, wird diese angegeben, jedoch nicht bewertet.

Lichtstärke

Die Lichtstärke ist der Quotient aus der größtmöglichen Öffnung oder auch Blende und der Brennweite eines Objektivs (siehe Formel 3). Dabei bedeutet ein kleiner Wert eine größere Lichtstärke. Bei Weitwinkelobjektiven spricht man bereits ab einem Wert kleiner als 2.0 von einer hohen Lichtstärke.²⁸

$$\text{Lichtstärke} = \frac{\text{max. Öffnungsdurchmesser}}{\text{Brennweite}}$$

Formel 3 - **Lichtstärke**

²⁷ Gerhard, Christoph: *Tutorium Optik. Ein verständlicher Überblick für Physiker, Ingenieure und Techniker*. Berlin Heidelberg, 2016, S.90.

²⁸ Vgl. Maschke, Thomas: *Digitaleameratechnik. Technik digitaler Kameras in Theorie und Praxis*. Berlin Heidelberg, 2004, S.60.

„Da ein direkter Zusammenhang zwischen Brennweite und Schärfentiefe besteht, ist besonders bei [...] Digitalkameras mit kurzen Brennweiten (= hohe Schärfentiefe) eine möglichst hohe Lichtstärke vorteilhaft, um die Schärfentiefe selektiv nutzen zu können. Ergeben doch kurze Brennweiten in Kombination mit kleinen Blendenöffnungen sehr große Schärfentiefe.“²⁹

Genau dieser beschriebene Effekt einer sehr großen Schärfentiefe soll jedoch bei Kameras zum Aufnehmen von 360°-Videos erzielt werden. Daher wird eine niedrige Lichtstärke im weitwinkligen Brennweitenbereich von Herstellern verwendet. Die Lichtstärke von Objektiven, welche in einem 360°-Kameramodell verbaut sind, sollte demnach einen Wert größer gleich 2.0 annehmen. Dies ist jedoch nur eine grobe Annahme und führt zu keiner Wertung.

Aufzeichnungscodec und erzeugte Datenrate

Der Codec, der zum Verarbeiten des aufgenommenen Videomaterials angewendet wird, hat je nach Art einen höheren oder niedrigeren Einfluss auf die Qualität des Materials und die erzeugte Datenrate. Die erzeugte Datenrate wird dabei in Mbit/s angegeben.

Relevanz hat in dieser Arbeit lediglich der Standard MPEG-4 AVC/H.264, da dieser bei nahezu allen 360°-Kameras Anwendung findet. Bei diesem Standard werden die Videodaten komprimiert und daher der Datenstrom reduziert, während bei dem Rohdatenformat raw alle Daten weitestgehend unbearbeitet und verlustfrei auf den Datenträger geschrieben werden. Die Datenrate eines Rohdatenformats ist dementsprechend hoch und die Qualität des Bildes wird nicht durch Komprimierungsverfahren vermindert.

Ob eine Datenreduktion durch einen Codec wie H.264 positiv oder negativ ist, kann lediglich in Bezug auf das Anwendungsgebiet bestimmt werden und wird daher nicht in die Bewertung einbezogen.

²⁹ Gerhard, Chritoph: Tutorium Optik. Ein verständlicher Überblick für Physiker, Ingenieure und Techniker. Berlin Heidelberg, 2016, S.90.

7.2 Bedienfreundlichkeit

In diesem Abschnitt der Arbeit wird auf Aspekte der Bedienfreundlichkeit eingegangen. Dabei gibt es keine klare Definition, was als bedienfreundlich empfunden wird. In dem Handbuch „Fernseh-Journalismus“ werden einzelne Aspekte der Bedienfreundlichkeit aufgezählt, welche unter anderem folgende sind:

- intuitiv bedienbare Menüführung,
- unkomplizierte Bedienbarkeit der Tasten und Regler,
- angemessener Kontrollmonitor und
- ausgeglichenes Gewicht der Kamera.³⁰

Diese Aspekte werden hier aufgegriffen, um weitere Kriterien ergänzt und auf 360°-Videokameras angewendet.

Menüführung

Für die Menüführung wird folgendes angegeben: Ein Anwender sollte „[...] die Menüführung innerhalb von fünf Minuten verstehen, ohne in die Bedienungsanleitung hineingesehen zu haben.“³¹ Da sich diese Empfehlung jedoch auf Kameras zur elektronischen Berichterstattung bezieht, ist fraglich, ob sie in diesem Kontext ebenfalls angewendet werden kann. Da in technischen Datenblättern meist keine Aussage dazu getroffen wird, geht dieser Aspekt nicht in die Wertung der Bedienfreundlichkeit ein.

Tasten und Regler

„Tasten und Regler müssen unkompliziert bedienbar sein.“³² Jedoch lässt sich aus dieser Aussage kein objektives Vergleichskriterium ableiten, da eine hohe Anzahl an Reglern und Tasten je nach Anwenderkreis für oder gegen ein Kameramodell sprechen kann. Die Anzahl der Tasten auf der Kamera wird häufig beschränkt, um eine einfachere Bedienung für den semiprofessionellen Anwender zu ermöglichen. Das

³⁰ Vgl. Buchholz, Axel / Schult, Gerhard: Fernseh-Journalismus. Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis. Wiesbaden, 2016, S. 394.

³¹ Buchholz, Axel / Schult, Gerhard: Fernseh-Journalismus. Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis. Wiesbaden, 2016, S. 394.

³² ebd.

Kameramodell Ricoh Theta SC kommt beispielsweise mit vier Tasten aus und kann ebenfalls über eine eigene App für Smartphones bedient werden.³³

Gewicht der Kamera

Auch zu einem angemessenen Gewicht einer Kamera werden im Handbuch „Fernseh-Journalismus“ Aussagen getroffen. Dabei soll die Kamera zwischen zwei und vier Kilogramm wiegen, um weder zu schwer für den Kameramann, noch zu leicht für eine ruhige Kameraführung zu sein.³⁴ Durch die meist statische Position und die Montage auf Stativen von 360°-Kameras muss eine solche Kamera nur in seltenen Fällen direkt in der Hand gehalten werden. Dadurch rückt der Aspekt des Handlings in den Hintergrund. Eine leichtere Kamera bekommt eine positive Wertung, weil sie unkomplizierter befestigt und transportiert werden kann.

Größe der Kamera

Die Größe eines Kameramodells spielt bei der Produktion von 360°-Videos eine Rolle, da dadurch auch der minimal mögliche Abstand der Kameras zueinander bestimmt wird. Ein großer Abstand der Kameras zueinander setzt ein größeres FoV der Kameras voraus, damit der Überschneidungsbereich der Sichtfelder in einem identischen Abstand zur Kamera erhalten bleibt.

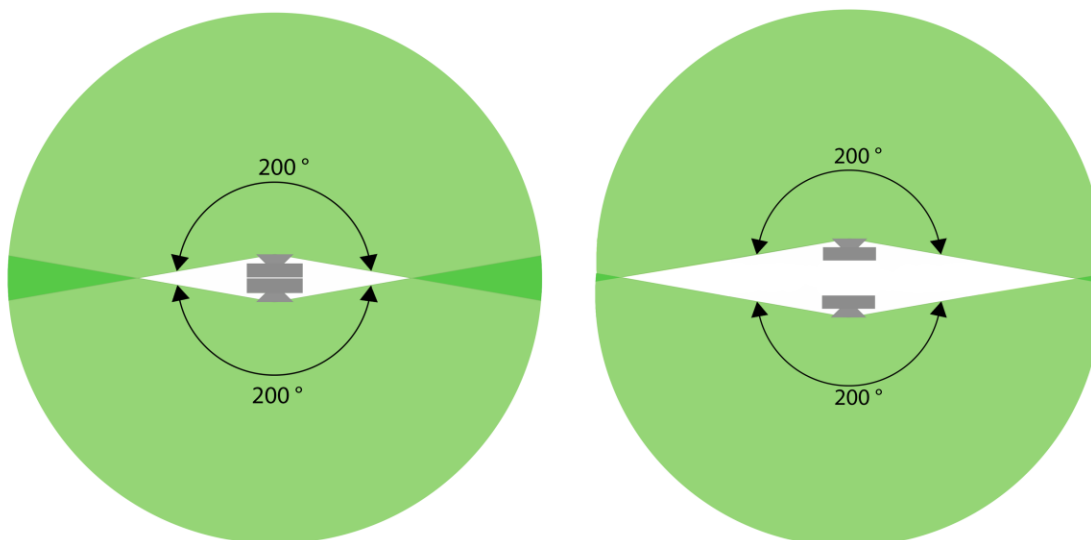


Abbildung 7 - **Kleiner und großer Abstand der Kameraoptiken** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

³³ Vgl. Ricoh Company, Ltd. (Hrsg.): Ricoh Theta SC. <https://theta360.com/de/about/theta/sc.html>, Zugriff: 04.02.17.

³⁴ Vgl. Buchholz, Axel / Schult, Gerhard: Fernseh-Journalismus. Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis. Wiesbaden, 2016, S. 394.

Für die Bedienbarkeit spielt die Größe der Kamera nur insofern eine Rolle, als dass das Equipment für den Dreh transportiert werden muss. Je nach Anwendungsgebiet ist es dabei wichtig, nicht zu viele oder zu große Gepäckeinheiten mit sich zu tragen. Da eine kleine Kamera keine Probleme diesbezüglich mit sich bringt, ist eine kleine Kamera oder ein kleinerer Kamerakopf als positiv zu bewerten. Dabei wird der größte Wert aus Breite, Höhe und Tiefe ausgewählt und betrachtet.

Vorschaumonitor

Als Vorschaumonitor ist ein Monitor zu verstehen, auf welchem das Bild der Kamera zu sehen ist. Er dient hauptsächlich zur Kontrolle des Bildausschnittes. Bei 360°-Kameras ist ein solcher Monitor nur selten verbaut, da eine Kontrolle des Bildausschnittes nicht nötig ist, weil ein lückenloses sphärisches Bild aufgezeichnet wird.

Wichtig wird ein Vorschaumonitor jedoch, wenn die Position und Nähe der Objekte beurteilt werden soll oder wenn Kameras einstellbare Parameter, wie Blendenstufe oder ISO-Wert, besitzen. Während manche Modelle Videoausgänge für die einzelnen Kameras besitzen, greifen wieder andere auf das Smartphone des Anwenders als Vorschaumonitor zurück. Das Vorhandensein eines Vorschaumonitors oder eine mögliche Vorschauanzeige über koppelbare Geräte für die Bildbeurteilung von 360°-Videos wird als positiv bewertet.

Weiterverarbeitung der Daten

Während man in der Postproduktion von herkömmlichem Videomaterial meist den Schnitt des Materials, Helligkeits- und Farbkorrektur vornimmt, kommt bei der Weiterverarbeitung zu 360°-Videos ein weiterer Schritt hinzu – das Stitching. Stitching ist das Kombinieren von mehreren überlappenden Bildern, um ein Bild mit einem größeren FoV zu erzeugen, als es bei einem der Ursprungsbilder war.³⁵ Das Stitching kann sowohl mit einer Software des Kameraherstellers automatisch erfolgen, wie es bei der Ricoh Theta S der Fall ist, oder manuell zusammengefügt werden.

Manuelles Stitching ist mit Softwares wie PTGui und Adobe After Effects möglich.³⁶ Der Aufwand dafür ist zwar sehr hoch, kann aber letztendlich ein qualitativ hochwertigeres Endprodukt liefern, da beispielsweise beim Stitching zwischen Ebenen entlang der Stitchlinie unterschieden werden kann. Für Consumer ist dieses Verfahren aufgrund des höheren Aufwandes jedoch ungeeignet.

³⁵ Vgl. Ikeuchi, Katsushi: Image Stitching. A Reference Guide. New York, 2014.

³⁶ Vgl. State of VR (Hrsg.): Chapter 3 / The Stitch. http://stateofvr.com/?page_id=17168, Zugriff: 10.02.17.

Autostitchingsoftware wird derzeit von verschiedenen Firmen angeboten. Dabei erstreckt sich die Preisspanne von 295 US-Dollar³⁷ bis hin zu 4.295 US-Dollar³⁸. Jedoch wird von einigen Herstellern solche Autostitchingsoftware im Paket zur 360°-Kamera mitverkauft oder als herstellereigene Stitchingsoftware mitgeliefert. Diese ist dann meist nur mit der herstellereigenen Kamera kompatibel. Eine Software, die das Zusammenfügen der Kamerabilder automatisch übernimmt, kann als anwenderfreundlich eingeordnet werden und wird als positiv gewertet.

Art und Kapazität des Speichermediums

Bei der Produktion von 360°-Videos entstehen abhängig von der Anzahl der Kameras, der verwendeten Auflösung, dem Dateiformat usw. große Datenmengen. Um diese aufzuzeichnen sind Speichermedien mit großen Speicherkapazitäten nötig. Die Speicherkapazität wird dabei in Gigabyte (GB) angegeben. Je nach Kamera und Art des Speichermediums kann seine Kapazität demnach relativ gesehen hoch oder niedrig sein. Eine pauschalisierte Aussage zur Wertung einer Speicherkapazität ist jedoch nur anhand der möglichen Aufzeichnungsdauer möglich, welche nur in seltenen Fällen für eine Kamera angegeben ist.

Wenn die Aufzeichnungsdauer einer Kamera angegeben ist, wird eine längere Aufzeichnungsdauer als positiv gewertet.

Akkulaufzeit

Die Laufzeit eines Akkumulators (Akku) ergibt sich aus der Kapazität des Akkus und der Leistungsaufnahme der Kamera. In der Praxis ist der Zusammenhang zwischen Laufzeit und Kapazität des Akkus nicht trivial, weswegen keine direkte Errechnung der Laufzeit erfolgen kann.

Falls die Akkulaufzeit in Minuten vom Hersteller angegeben wird, wird diese bei einem höheren Wert als besser bewertet.

³⁷ Vgl. Videostitch (Hrsg.): VideoStitch Studio. <http://www.video-stitch.com/studio/>, Zugriff: 06.02.17.

³⁸ Vgl. The Foundry (Hrsg.): CARA VR for NUKE. Your 360° virtual reality toolkit. <https://www.thefoundry.co.uk/products/cara-vr/>, Zugriff: 06.02.17.

7.3 Qualität des sphärischen Videomaterials

Im Gegensatz zu Kapitel 7.1 bestimmen die hier aufgelisteten Kriterien nicht nur die Qualität eines Kamerabildes, sondern beeinflussen das zusammengesetzte 360°-Video, demnach das sphärische Bild.

Anzahl der Optiken

Ein 360°-Kameraaufnahmesystem muss mindestens zwei Optiken haben (siehe Kapitel 1). Angeboten werden jedoch diverse Modelle mit bis zu 24 Optiken. Die Anzahl der Optiken bestimmt erheblich die effektive Auflösung eines 360°-Videos und ist damit entscheidend für die Videoqualität. Hierbei kann festgelegt werden, dass eine höhere Anzahl von Optiken eine bessere Qualität mit sich bringt und wird deshalb als positiv bewertet.

Bildwinkel

Der Bildwinkel wird als AoV bezeichnet und in Grad angegeben. Die Bildwinkel der Optiken innerhalb eines 360°-Videoaufnahmesystems müssen sich jeweils um mindestens 5° überschneiden. Dies kann je nach Anzahl der Optiken durch einen unterschiedlich großen AoV gewährleistet werden. Solang diese Mindestanforderung erfüllt ist, wirkt sich ein größerer AoV nicht negativ auf die Qualität eines 360° Videos aus. Daher wird der Bildwinkel einer Kamera angegeben und lediglich auf die Erfüllung der Mindestanforderung überprüft.

Ein Sonderfall tritt allerdings ein, wenn sich Objekte im Bild sehr nah an der Kamera befinden.

Blind Spots

Bei Kameraaufbauten für 360°-Videos entstehen tote Winkel, die außerhalb des Sichtfeldes liegen. Sie werden auch als „Blind Spot“ bezeichnet und lassen sich nie ganz vermeiden. Die Größe dieser Blindspots hängt vom Abstand der Kameraoptiken zueinander und von der Kameragröße an sich ab. Bei Kameras mit nur zwei Optiken, kann ein großer horizontaler AoV die Größe dieser Blind Spots minimieren (siehe Abbildung 8).

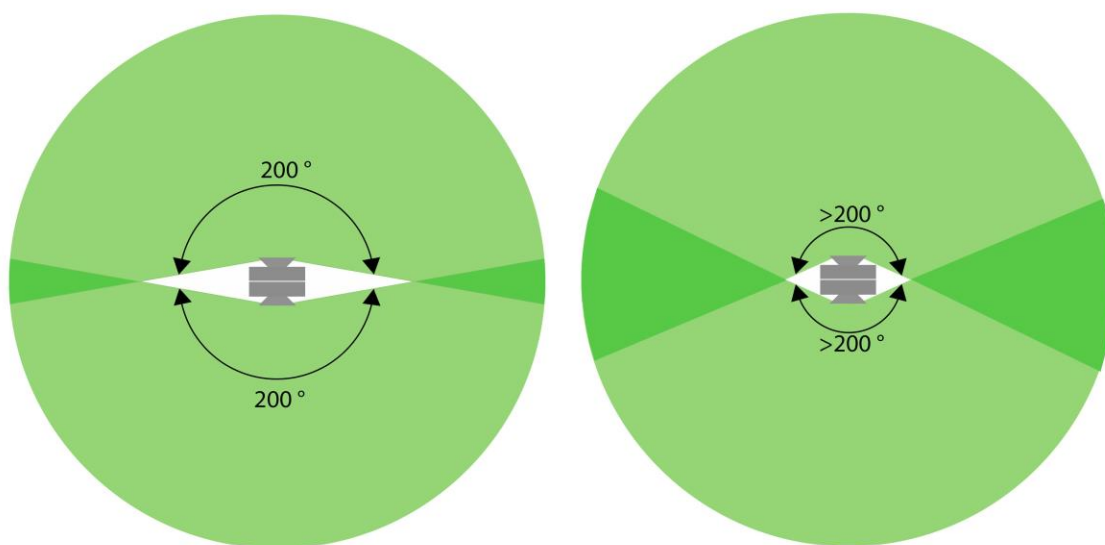


Abbildung 8 - **Variable Blindspots durch unterschiedlichen AoV** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017)

Möchte der Produzent eines 360°-Videos Objekte abbilden, die sehr nah an der Kamera sind, sollten tote Winkel vermieden werden. In einer Produktion, bei welcher Equipment, wie beispielsweise ein Stativ, verdeckt werden soll, kann dieser Effekt jedoch positiv sein. Die Vorteile eines kleinen Blindspots überwiegen jedoch die Vorteile eines großen Blindspots.

In Datenblättern wird die Gesamtgröße der toten Winkel meist nicht angegeben. Dafür lässt sich der Mindestabstand von Objekten zur Kamera ablesen. Dieser ist eine Empfehlung, damit der Effekt der Verdeckung nicht auftritt. Hierbei lässt sich ein kleiner Mindestabstand als positiv werten.

Monoskopisch/Stereoskopisch

Ein großer Anteil der 360°-Videos, die derzeit im Umlauf sind, bildet ein monoskopisches, sphärisches Bild ab. Um ein 360°-Video in 3D, also stereoskopisch, aufzunehmen, bedarf es zwei Kameraoptiken pro AoV.

Durch das Bestreben, 360°-Videos so immersiv wie möglich zu machen, ist ein stereoskopisches Bild ein weiterer Schritt dazu. Deshalb wird die Möglichkeit 3D 360° aufzunehmen als positiv betrachtet.

Sichtbare Stitchlinie

Als sichtbare Stitchlinie wird eine deutlich erkennbare Line bezeichnet, die sich in sphärischen Bildern zeigt. Sie entsteht meist als Resultat unzureichend genauer Stitchingsoftware, unzureichender Menge von mehrfach vorkommenden Bildpunkten oder durch tote Winkel der Kamera. Unter sichtbaren Stitchlinien leidet die Qualität eines 360°-Videos enorm, da mitunter Personen darin visuell verschwinden können.

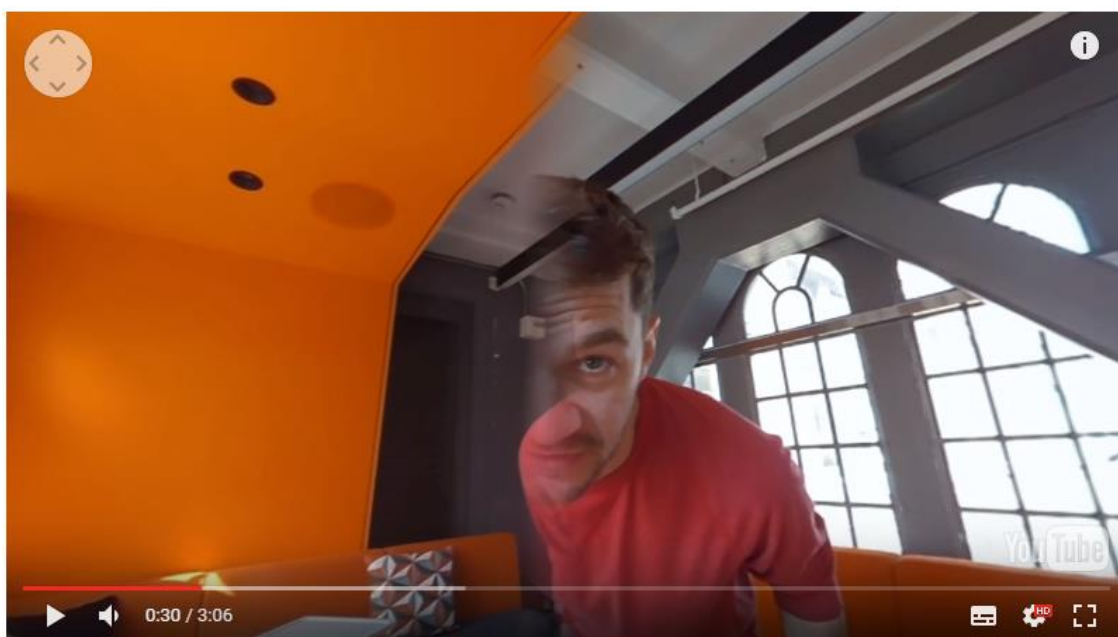


Abbildung 9 - **Sichtbare Stitchlinie** (Quelle: Youtube LLC (Hrsg.): <https://creatoracademy.youtube.com/page/lesson/360-production?ytref=progress&cid=360video&hl=de>, Videoscreenshot: 0:30 min, Zugriff: 06.02.17.)

Bildlücken entstehen dort, wo mehrere Kamerabilder zusammengefügt werden. In Abbildung 9 sieht man deutlich, wie das Gesicht der Person zur Hälfte verschwindet, während seine Schulter nicht abgeschnitten wird.

Die sichtbaren Stitchlinien wirken sich negativ auf die Qualität des 360°-Videos aus und sollen deshalb vermieden werden. Dies kann durch die Vergrößerung der sich überschneidenden Bildbereiche, demnach einem großen AoV, der Kameras oder eine größere Kameraanzahl geschehen. Da das Entstehen von Stitchlinien nicht aus Datenblattangaben vorhergesagt werden kann, ist es nicht möglich diese in die Wertung einzubeziehen.

7.4 Kostenfaktor - Preis

Da der Kostenfaktor bei der Entscheidung für ein Kamerasystem eine wesentliche Rolle spielt, wird dieser ebenfalls als Parameter angegeben. Der Preis wird immer als Verkaufspreis eines Onlineanbieters und ohne Versandkosten in Euro angegeben. Falls ein Kameramodell lediglich in einer anderen Währung angeboten wird, ist dieser zum aktuellen Wechselkurs in Euro angegeben und dementsprechend gekennzeichnet.

Da die Verkaufspreise je nach Anbieter stark schwanken können, ist die Preisangabe als Spanne in der Form „kleinster Preis – höchster Preis“ angegeben. Aus dieser Preisspanne wird ein Mittelwert errechnet, um eine Sortierung der Geräte nach Preis zu ermöglichen. Eine Wichtung des Preises erfolgt dabei nur zu einem kleinen Teil, da der Fokus dieser Arbeit auf dem Vergleich der Hardware der Systeme liegt. Ein großer Wert wird als negativ bezeichnet.

7.5 Zusammenfassung

Aus den Erläuterungen der Kriterien ergibt sich folgende, zusammenfassende Tabelle zur Bewertbarkeit und Bewertung der Kriterienwerte:

Kriterium	Einheit	anzunehmende Werte	Bewertung (großer Wert/ja)
Preis mittel	Euro (€)	1 - 100.000	negativ
Anzahl Sensoren	-	1 - 50	positiv
Art Sensoren	-	CMOS/CCD/Foveon X3	-
Sensorgroße	Zoll (")	1/4 - 1	positiv
Sensorauflösung	Megapixel (MP)	1 - 30	positiv
max. Videoauflösung	Megapixel (MP)	1920 x 960 - 4096 x 4096	positiv
native ISO	-	25 - 1600	-
max. Bildwiederholrate	Frames per Second (fps)	20 - 240	positiv
Brennweite	Millimeter (mm)	0,5 - 20	-
Lichtstärke	-	1.8 - 2.9	-
Dynamikumfang	Dezibel (dB)	1 - 100	-
Aufzeichnungscodec	-	RAW/H.264/H265	-
erzeugte Datenrate	Megabit pro Sek. (Mbit/s)	1 - 100.000	-
Menüführung	-	intuitiv/nicht intuitiv	-
Tasten und Regler	-	intuitiv/nicht intuitiv	-
Gewicht	Gramm (g)	1 - 10.000	negativ
Größe/max. Maße	Zentimeter (cm)	0,01 - 100	negativ
Vorschaumonitor vorh.	-	ja/nein	positiv
Stitchingssoftware vorh.	-	ja/nein	positiv
max. Speicherkapazität	Gigabyte (GB)	1 - 100.000	positiv
Aufzeichnungsdauer	Minuten (min)	1 - 240	positiv
Akkulaufzeit	Minuten (min)	1 - 240	positiv
Mindestabstand	Zentimeter (cm)	1 - 100	negativ
Anzahl der Optiken	-	2 - 50	positiv
FoV pro Optik	Grad (°)	1 - 360	positiv
3D-Aufnahme möglich	-	ja/nein	positiv
sichtbareStitchlinie	-	ja/nein	-

Tabelle 4 - **Übersichtstabelle der Bewertungskriterien** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

8 Vergleich der 360°-Kameras innerhalb der Gruppen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wird in dieser Arbeit zwischen weitwinkelbasierten, mosaikbasierten und lichtfeldbasierten 360°-Aufnahmesystemen unterschieden. Die 360°-Kameras werden mithilfe der Nutzwertanalyse innerhalb ihrer Gruppen verglichen.

8.1 Weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme

8.1.1 Funktionsweise

Um die Voraussetzung eines großen FoV zu erfüllen, können weitwinklige Optiken für Kameras verwendet werden. In solchen Optiken sind meist mehrere Linsen hintereinander verbaut, um den gewünschten AoV zu erreichen. Dabei werden sogenannte Super- oder Ultraweitwinkelobjektive oder gar Fischaugenobjektive verwendet.

Weitwinkelbasierte Systeme müssen zwei Kameraoptiken und zwei Sensoren zur Videoaufnahme besitzen. Dabei sind die Kameraoptiken jeweils in entgegengesetzter Richtung montiert. Der Bildwinkel beider Optiken ist meist identisch. Eine Ausnahme ist das bald erscheinende Modell Kodak Pixpro ORBIT360 4K.



Abbildung 10 - Nikon Keymission360 und Kodak Pixpro Orbit360 (v.l., nicht maßstabsgetreu) (Quelle: Eigene Darstellung, 2017. In Anlehnung an: Cool Hunting (Hrsg.): Nikon Keymission 360. <http://www.coolhunting.com/tech/nikon-keymission-360>, Zugriff: 15.02.17. / Photo Industry Reporter, Inc. (Hrsg.): Kodak PixPro 2017 Digital Camera & Devices. <http://www.direporter.com/products/360o/kodak-pixpro-2017-digital-camera-devices>, Zugriff: 15.02.17.)

Wie in der Abbildung verdeutlicht, arbeitet das Kameramodell Nikon Keymission 360 mit zwei identischen Optiken. Das Kameramodell Kodak Pixpro besitzt hingegen zwei unterschiedliche Optiken, wobei eine der Optiken ein FOV von 235° und die andere 155° abdeckt.³⁹

Die sphärischen Halbkugeln, die bei der Videoaufnahme entstehen, werden entlang der Stitchlinie zusammengefügt. Dadurch gibt es potenziell nur eine Linie, an der Übergänge sichtbar werden können. Das equirektangulare Bild, das dabei entstehen kann, hat maximale die summierte Auflösung beider Sensoren der Kamera, da es sich aus deren Bildern zusammensetzt.

8.1.2 Wichtung der Kriterien

Bei der Gewichtung von weitwinkelbasierten Systemen dient ein Vergleich von Actioncams als Orientierung (siehe Anhang 2). Aspekte zur Beurteilung des sphärischen Videos fallen bei der Gruppe der weitwinkelbasierten Systeme weg, da mit nur zwei Optiken kein stereoskopisches Bild erzeugt werden kann. Beim Test der Action Camcorder in der Stiftung Warentest wird die Handhabung mit einer Wichtung von 30% eingestuft. Durch die Summierung mit der Gewichtung der Akkulaufzeit von 10% erhält hier die Kriteriengruppe Bedienfreundlichkeit 40% Gewichtung. Die übrigen 60% werden auf die Videoqualität zu 50% und den Preis zu 10% aufgeteilt. Der Preis erfüllt somit die in Kapitel 7.4 gestellte Bedingung, nur einen kleinen Einfluss auf die Gesamtwertung zu haben.

Kriteriengruppe	Gruppen-gewicht (%)	Kriterium	Kriteriumsgewicht innerhalb der Gruppe (%)	Gesamtgewicht des Kriteriums (%)
Kostenfaktor	10	Preis mittel	100	10
Videoqualität	50	Größe Sensoren	20	10
		Auflösung Sensor	20	10
		max. Auflösung Video	40	20
		max. Bildwiederholrate	20	10
		Bedienfreundlichkeit	40	Gewicht
		Größe/max. Maße	20	8
		Vorschaumonitor vorhanden	5	2
		Stitchingsoftware vorhanden	10	4
		max. Speicherkapazität	10	4
		Aufzeichnungsdauer	10	4
		Akkulaufzeit	10	4
		Mindestabstand	5	2

Tabelle 5 - Gewichtung weitwinkelbasierte Systeme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

³⁹ Vgl. Youtube LLC. (Hrsg.): ORBIT360 4K - TWICE Pick Award Interview at CES 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=ykVxolOKDeE>, 1:11 min – 1:18 min, Zugriff: 15.02.17.

Für die Vergabe der Punkte wurde, wie in Kapitel 5 erläutert, eine gruppenspezifische Wertungsmatrix erstellt (siehe Anhang 4).

8.1.3 Vergleich Weitwinkelbasierter 360°-Aufnahmesysteme

Um die verschiedenen Kameramodelle miteinander zu vergleichen wurde die Nutzwertanalyse auf die 13 weitwinkelbasierten 360°-Aufnahmesysteme angewandt (siehe Tabelle 6ff). Dabei wurde jede einzelne Summe der Nutzwerte errechnet, so dass jedem Kamerasystem ein bestimmter Wert zugeordnet werden konnte.

Kameramodell /Kriterium	Gewichtung (%)	Amkov AMK200S	Nutzwert	Elephone Elecam 360	Nutzwert	Easypix/ GoXtreme Full Dome 360	Nutzwert	DETU VR Camera Twin	Nutzwert
Preis mittel	10	10	100	10	100	9	90	8	80
Größe Sensoren	10	7,4	74	6	60	7,4	74	6	60
Auflösung Sensor	10	1	10	1	10	1	10	1	10
max Auflösung Video	20	1	20	1	20	1	20	4	80
max Bildwiederholrate	10	1	10	1	10	1	10	1	10
Gewicht	12	10	120	10	120	8,4	100,8	10	120
Größe	8	10	80	10	80	10	80	4	32
Vorschaumonitor	2	5	10	5	10	5	10	5	10
Stitchingsoftware	4	10	40	10	40	10	40	10	40
max Speicherkapazität	4	1	4	1	4	1	4	3	12
Akkulaufzeit	4	3	12	3	12	7	28	3	12
			480		466		466,8		466

Tabelle 6 - Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/3 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

LG 360 Cam R105	Nutzwert	LUNA LUNA	Nutzwert	Ricoh Theta SC	Nutzwert	Samsung Gear 360	Nutzwert	Ricoh Theta S	Nutzwert	Kodak Pixpro ORBIT360 4K	Nutzwert
8	80	7	70	6	60	6	60	4	40	2	20
7,4	74	7,4	74	10	100	7,4	74	10	100	7,4	74
6	60	1	10	5	50	7	70	5	50	10	100
3	60	1	20	1	20	3	60	1	20	9	180
1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	5	50
10	120	8	96	10	120	9	108	9	108	8,4	100,8
7	56	10	80	3	24	10	80	3	24	10	80
5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
10	40	10	40	10	40	10	40	10	40	10	40
-	-	1	4	1	4	10	40	1	4	5	20
4	16	1	4	4,1	16,4	3	12	4,1	16,4	4,1	16,4
	526		418		454,4		564		422,4		691,2

Tabelle 7 - Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/3 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Vergleich der 360°-Kameras innerhalb der Gruppen

Nikon Keymission 360	Nutzwert	ALLie ALLie cam GO	Nutzwert	Insta Insta 360 4K	Nutzwert	
	2	20	1	10	1	10
	10	100	9	90	1	10
	10	100	4	40	3	30
	10	200	7	140	10	200
	10	100	1	10	1	10
	7	84	1	12	5	60
	10	80	8	64	1	8
	5	10	5	10	5	10
	10	40	10	40	10	40
	4,7	18,8	5	20	4,7	18,8
	4	16	10	40	3	12
		768,8		476		408,8

Tabelle 8 - **Nutzwertberechnung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 3/3** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Außerdem wurden die Nutzwertsummen noch einmal ohne den Kostenfaktor bestimmt. Die Platzierung der Systeme sieht nach Auswertung dieser Werte folgendermaßen aus:

Platz	Kameramodell	Nutzwertsumme	Nutzwertsumme ohne Preis	Platz ohne Preis
1	Nikon Keymission 360	858,8	748,8	1
2	Kodak Pixpro ORBIT360 4K	691,2	671,2	2
3	Samsung Gear 360	564	504	3
4	LG 360 Cam R105	526	446	5
5	Amkov AMK200S	480	380	10
6	ALLie cam GO	476	466	4
7	Easypix/GoXtreme Full Dome 360	466,8	376,8	11
8	Elephone Elecam 360	466	366	12
9	DETU VR Camera Twin	466	386	8
10	Ricoh Theta SC	454	394,4	7
11	Ricoh Theta S	422,4	382,4	9
12	LUNA	418	348	13
13	Insta 360 4K	408,8	398,8	6

Tabelle 9 - **Platzierung weitwinkelbasierter 360°-Aufnahmesysteme** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Im folgenden Abschnitt wird auf die einzelnen Kameramodelle des Vergleiches eingegangen und es werden Vorteile und Nachteile dieser genannt.

Platz 1 – Nikon Keymission 360



Abbildung 11 - **Nikon Keymission 360** (Quelle: 360grad-Kamera-Check.de (Hrsg.): Nikon Keymission 360 im Test. http://www.360grad-kamera-check.de/nikon_keymission_360/, Zugriff: 16.02.17.)

Das Kameramodell Nikon Keymission 360 konnte im Vergleich, sowohl ohne als auch mit Einbeziehung des Kostenfaktors, als das beste Kameramodell mit einem relativ großen Punkteabstand abschneiden. Dieser resultiert hauptsächlich aus der guten Bewertung der Sensor- und Videowerte. Mit einer maximalen Bildwiederholrate von 240 fps setzte diese Kamera den Maßstab für 10 Bewertungspunkte. Die kleine Kamera zeichnet sich außerdem durch eine Größe von 6,1 x 6,6 x 6,1 cm aus. Trotz des hohen Preises von derzeit fast 500 Euro (siehe Anhang 6), sticht sie in diesem Vergleich auch ohne Einbeziehung des Preises deutlich heraus. Mit wasserdichten Linsenabdeckungen und Befestigungsmöglichkeiten im Lieferumfang, ist die Kamera als Actionkamera entwickelt worden. Das sphärische Video wird von der Keymission 360 intern bereits gestitcht auf die microSD-Karte geschrieben, womit Videos direkt auf Plattformen wie beispielsweise Facebook hochladbar sind. Ein Nachteil ist jedoch, wie bei vielen gleichartigen Systemen, der sichtbare Übergang der beiden Kamerabilder.⁴⁰

Platz 2 – Kodak Pixpro Orbit 360



Abbildung 12 - **Kodak PixPro Orbit360** (Quelle: Eastman Kodak Company (Hrsg.): ORBIT360 4K. <http://www.kodak.com/Consumer/Products/Digital-Cameras/Action-Camera/Orbit360/default.htm>, Zugriff: 16.02.17.)

Auf der CES 2017 wurde das Kameramodell Orbit360 von Kodak erstmals vorgestellt. Ebenso wie bei der Kamera Nikon Keymission 360 soll eine Auflösung von bis zu 4K pro Optik möglich sein. Weitere Punkte werden durch eine Bildwiederholrate von 120 fps erlangt. Sowohl in der Größe als auch in der Möglichkeit des internen Stitching entspricht diese Kamera dem Vergleichssieger. Eine Besonderheit dieser Kamera sind die unterschiedlichen Linsen, welche ein FOV von 235° und 155° abdecken und dem Benutzer erlauben, zwischen dem Aufnahmemodus 360° und 235° zu wechseln.⁴¹

⁴⁰ Vgl. Digitaleyed.de (Hrsg.): Testbericht: Nikon KeyMission 360 Panorama-Actioncam, http://www.digitaleyed.de/Tests/Testbericht_Nikon_KeyMission_360_Panorama-Actioncam/10120, Zugriff: 16.02.17.

⁴¹ Vgl. Youtube LLC. (Hrsg.): Kodak PixPro 4KVR360 – A Closer Look at Kodak's 360° Action Camera. <https://www.youtube.com/watch?v=2sMpDq8Z1g8>, Min: 1:51 – 2:06, Zugriff: 16.02.17.

Platz 3 – Samsung Gear 360



Abbildung 13 - **Samsung Gear 360** (Quelle: Samsung Electronics Co., Ltd. (Hrsg.): Gear 360. <http://www.samsung.com/global/gallery/gear-360/>, Zugriff: 16.02.17.)

Platz drei im Vergleich wird von der Kamera Samsung Gear 360 belegt. Sie konnte im Vergleich sowohl mit ihrer geringen Größe als auch der hohen Speicherkapazität punkten. Ein großer Nachteil dieses Modells ist jedoch, dass die Konnektivität über eine spezielle App nur mit einigen Smartphones des Herstellers Samsung gewährleistet ist.⁴² In dieser App werden außerdem die Fotos und Videos der Kamera gestitcht. Durch ein mitgeliefertes Stitchingprogramm für den Computer und die appunabhängige Bedienung der Kamera, konnte diese Kamera jedoch in den Vergleich aufgenommen werden. Dank der Computersoftware sind die Stitchlinien bei manueller Bearbeitung kaum noch zu sehen.⁴³

LG Cam R105



Abbildung 14 - **LG Cam R105** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: LG Electronics (Hrsg.): LG 360 CAM. LGR105. <http://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105.AVRZTS-360-cam>, Zugriff: 16.01.17.)

Die LG Cam R105 nimmt in dem durchgeführten Vergleich Platz 4 ein. Ohne den Kostenfaktor einzubeziehen schafft es dieses Modell nur auf Platz 5, womit deutlich wird, dass der niedrige Preis dieser Kamera ein wesentlicher Faktor bei der Kaufentscheidung sein kann. Mit einem niedrigen Gewicht von nur 97g erzielt die LG Cam volle 10 Bewertungspunkte. Mit einer maximalen Videoauflösung von 2560 x 1280 Pixeln, kann bei einer sphärischen Abbildung lediglich eine geringe Bildqualität erreicht werden. Die Kamera besitzt einen internen Speicher von 4 GB, welcher jedoch durch eine externe microSD-Karte auf bis zu 2TB erweitert werden kann. Die Kamera wird durch ihr Ein-Knopf-System als sehr bedienfreundlich eingestuft. Zudem ist sie kompatibel mit sämtlichen Smartphones.⁴⁴

⁴² Vgl. 360rumors.blogspot.de (Hrsg.): CES 2017: why the Kodak Orbit360 4k could be the best intermediate 360 camera to date. <http://360rumors.blogspot.de/2017/01/ces-2017-why-kodak-orbit360-4k-could-be.html>, Zugriff: 16.02.17.

⁴³ Vgl. Digitaleyed.de (Hrsg.): Testbericht: Samsung Gear 360 VR-Kamera. https://www.digitaleyed.de/Tests/Testbericht_Samsung_Gear_360_VR-Kamera/10321, Zugriff: 16.02.17.

⁴⁴ Vgl. 360-grad-kamera-club.de (Hrsg.): LG 360 Cam – Test und Fazit. <https://360-grad-kamera.club/lg-360-cam-test/>, Zugriff: 16.02.17.

Amkov AMK 200S



Abbildung 15 - **Amkov AMK200S**
(Quelle: Amkov.com (Hrsg.): Specifications. <http://amkov.com/show-45-157.html>, Zugriff: 16.02.17.)

Während die Kamera Amkov AMK 200S in der Gesamtwertung auf Platz 5 eingestuft wurde, kann sie ohne ihren größten Vorteil, den Preis, nur Platz 10 erreichen. Derzeit ist dieses Modell mit einem Preisniveau von 125,50 € das günstigste 360°-Videoaufnahmesystem. Mit einem 4 MP großen Sensor und einer geringen Videoauflösung von 1920 x 960 Pixeln kann dieses Modell nicht mit seiner Qualität überzeugen. Volle Punktzahl gibt es hingegen bei Größe und Gewicht.

ALLie Cam GO



Abbildung 16 - **ALLie Cam GO**
(Quelle: B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): ALLie 8MP Day/Night IR 360° Dual Lens Spherical VR Camera (White).
https://www.bhphotovideo.com/c/product/1221499-REG/ic_real_tech_ahw10_allie_8mp_day_night_ir.html, Zugriff: 16.02.17.)

Die 360°-Kamera von ALLie wird hauptsächlich als Kamera für den Heimgebrauch vermarktet, da sie sowohl mit einem Feststromanschluss betrieben werden kann als auch die Möglichkeit bietet, ein Livebild zu übertragen. Durch ein zusätzliches Modul namens „GO“ ist die Kamera mit einem Akku und einer microSD-Karte ausgestattet, um auch unterwegs aufzeichnen zu können.⁴⁵ Im Vergleich wurde die Kamera mit dem Zusatzmodul betrachtet. Mit Betrachtung des Kostenfaktors wird die ALLie Cam auf Platz 6 eingestuft, während sie ohne diesen sogar Platz 4 belegt. Selbst ohne Feststromanschluss kann die Kamera zwei Stunden lang betrieben werden. Außerdem zeichnet sie mit zwei 1/2,6“ Sensoren 2K Videos auf.

⁴⁵ Vgl. IC Real Tech, Inc. (Hrsg.): Shop ALLie. ALLie GO. <https://allie.camera/allie-360-video-camera-Go>, Zugriff: 16.02.17.

Easypix/GoXtreme Full Dome 360



Abbildung 17 - **Easypix/GoXtreme Full Dome 360** (Quelle: Easypix GmbH (Hrsg.): GoXtreme Full Dome 360°. Turn your world around. <http://www.goxtreme-action-cams.com/de/goxtreme-full-dome-360-2/>, Zugriff: 16.02.17.)

Auch mit der Kamera GoXtreme Full Dome 360 kann man 360°-Videos und 220°-Videos aufzeichnen. Sie belegt den Platz 7. Ohne die Bewertung des Preises schafft es diese Kamera jedoch nur auf Platz 11. Ein Grund dafür ist die geringe Videoauflösung des Sensors, da lediglich eine Full HD Aufnahme möglich ist. Das Kameramodell unterstützt microSD-Karten mit einer Speicherkapazität von maximal 32 GB. Eine Stärke dieser Kamera ist ihre geringe Größe von 6 x 4,5 x 4,7 cm.

Elephone Elecam 360



Abbildung 18 - **Elephone Elecam 360** (Quelle: Elephone Mobile Technology Inc. (Hrsg.): ELECAM 360 Video Camera 360 Degrees Panorama Camera Action Camera. <http://www.elephonestore.com/elecam-360-video-camera-panorama-camera.html>, Zugriff: 16.02.17.)

Diese 360°-Actioncam ähnelt der Easypix GoXtreme Full Dome 360 nicht nur äußerlich. Die Elephone Elecam 360 belegt im Vergleich Platz 8, reiht sich ohne die Einbeziehung des Kostenfaktors aber hinter der Full Dome 360 auf Platz 12 ein. Durch eine geringere Akkulaufzeit von nur 60 min, verliert sie im Direktvergleich gegen die GoXtreme Full Dome 360. Der Preis der Kamera liegt bei 140 €. In einem Testbericht des Digitalkamera Magazins wird sich über das Auftreten von Stitching- und Renderfehlern beklagt.⁴⁶ Auch diese Kamera kann Videos lediglich in Full HD aufzeichnen.

⁴⁶ Vgl. dkamera.de (Hrsg.): Die Elephone Elecam 360 im Test (Teil 2). <http://www.dkamera.de/news/die-elephone-elecam-360-im-test-teil-2/>, Zugriff: 16.02.17.

DETU VR Camera Twin



Abbildung 19 - **DETU VR Camera Twin** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Detu.com (Hrsg.): Twin. <http://cam.detu.com/en/twin/specs>, Zugriff: 16.02.17.)

Die Kamera DETU Twin besitzt wie die Kamera LG Cam R105, die Ricoh Theta S und die Ricoh Theta SC durch ihr Design einen sehr kleinen Abstand zwischen beiden Kameraoptiken. Sie belegt noch vor den 360°-Kameramodellen von Ricoh Platz 9, ohne ihren Preis sogar Platz 8. Obwohl ihre Sensoren mit einer Auflösung von ca. 4 MP kleiner sind als die der Kamera Ricoh Theta S, ist die maximale Videoauflösung mit einem Wert von 2880 x 1440 Pixeln höher. Auch die Maße sind geringfügig kleiner als die der Ricoh Theta und die Speicherkarte ist nicht fest verbaut und wird mit einer Kapazität von bis zu 64 GB unterstützt.⁴⁷

Ricoh Theta SC und Ricoh Theta S



Abbildung 20 - **Ricoh Theta SC und S** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Imaging Resource (Hrsg.): Ricoh Theta SC Review. <http://www.imaging-resource.com/PRODS/ricoh-theta-sc/ricoh-theta-sa.HTM#>, Zugriff: 16.02.17. / Tech Prolonged (Hrsg.): "Theta S" Camera shoots & shares 360-degree photos on Google Maps, face-book, twitter etc.. <http://techprolonged.com/2015/09/ricoh-theta-s-spherical-portable-consumer-camera/>, Zugriff: 16.02.17.)

Dafür, dass die Ricoh Theta SC auf der Website von Ricoh als das Standardmodell verkauft wird, erlangt sie Platz 10 noch vor der Ricoh Theta S, welche auf Platz 11 landet. Auch ohne die Einbeziehung des Preises belegt die Theta SC mit Platz 7 einen höheren als die Theta S. Diese ist ohne den Kostenfaktor auf Platz 9. Beide Kameras können Videos in Full HD aufnehmen. Das Abspielen von Videos ist somit nur auf einem kleinen Gerät zu empfehlen. Die interne Speicherkapazität beider Kameras beträgt jeweils ca. 8 GB und ist nicht durch eine externe Speicherkarte erweiterbar. Die Ricoh Theta SC ist minimal größer, dafür aber 23 g leichter. Eine Aufzeichnungszeit kann bei der Theta S bis zu 25 min dauern, während ein Video der Theta SC nach 5 min abgebrochen wird. Der Hersteller bietet das Standardmodell Ricoh Theta SC in vier verschiedenen Farben an.⁴⁸

⁴⁷ Vgl. 360rumors.blogspot.de (Hrsg.): CES 2017: Detu launches Twin, hints at two new 360 cameras. <http://360rumors.blogspot.de/2017/01/ces-2017-detu-launches-twin-hints-at.html>, Zugriff: 16.02.17.

⁴⁸ Vgl. Ricoh Company, Ltd. (Hrsg.): Produkt. <https://theta360.com/de/about/theta/>, Zugriff: 16.02.17.

LUNA



Abbildung 21 - LUNA (Quelle: Cargocollective.com (Hrsg.): LUNA. <http://cargocollective.com/fon/LUNA>, Zugriff: 16.02.17.)

LUNA ist ein Kameramodell, das durch eine Crowdfundingkampagne umgesetzt und gefertigt werden konnte. Ende Januar diesen Jahres wurden die ersten Kameramodelle versendet.⁴⁹ Die Kamera überzeugt hauptsächlich durch ihre Größe von nur 6,5 x 5,5 cm. Die kugelförmige Kamera erreicht Platz 12, ohne ihren relativ günstigen Preis jedoch nur Platz 13. Die Kamera hat eine interne Speicherkapazität von 32 GB und ist nicht mit einer zusätzlichen Speicherkarte kompatibel. Eine Besonderheit der Kamera ist das magnetische Befestigungssystem. Mit einer Akkulaufzeit von nur 40 Minuten kann die Kamera in dieser Kategorie nur einen von zehn Punkten erlangen. Die Videoaufzeichnung kann lediglich mit 1920 x 1080 Pixeln auf einen 5 MP Sensor realisiert werden.

Insta 360 4K



Abbildung 22 - Insta 360 4K (Quelle: fotointern.ch (Hrsg.): Insta360 4K: Das Standalone-Modell mit 4K Video. <http://www.fotointern.ch/archiv/2016/08/24/insta-360-nano-aufsteckadapter-macht-aus-dem-iphone-eine-360-grad-kamera/>, Zugriff: 16.02.17.)

Das Kameramodell Insta 360 4K belegt im Vergleich den letzten Platz, Platz 13. Ohne die Bewertung des Preises kommt diese 360°-Kamera auf Platz 6. Dieser Unterschied von ganzen 7 Plätzen entsteht durch den relativ hohen Preis der Kamera von gemittelt 524 €. Durch ihre Größe verliert die Insta 360 4K einige Punkte, ebenso durch die relativ niedrige Bildwiederholrate von maximal 30 fps. Dafür ist eine Auflösung bis 4K möglich. Mit diesem Kameramodell kann durch ein Echtzeitstitching mit fast unsichtbaren Stitchlinien ein Livestream realisiert werden.⁵⁰

⁴⁹ Vgl. Indiegogo Inc. (Hrsg.): Luna - A 360 Camera for Everyone.

<https://www.indiegogo.com/projects/luna-a-360-camera-for-everyone-gadgets-technology#/comments>, Zugriff: 16.02.17.

⁵⁰ Vgl. 360grad-Kamera-Check.de (Hrsg.): Insta 360 im Test. <http://www.360grad-kamera-check.de/insta360-test/>, Zugriff: 16.02.17.

8.1.4 Indiecaml nakedEYE



Abbildung 23 - **Indiecaml nakedEYE** (Quelle: INDIECAM GmbH (Hrsg.): nakedEYE. <http://www.indiecam.com/store/nakedeye/>, Zugriff: 16.02.17.)

Durch den hohen Kostenfaktor dieser Kamera von 9500 € wird die Indiecaml nakedEYE einzeln betrachtet. Auf der International Broadcast Convention (IBC) 2016 wurde dieses Modell als das erste 360°-Kamerasystem mit nur zwei Optiken, das für professionelle Anwender entwickelt wurden, vorgestellt. Die folgenden Angaben entnahm die Verfasserin einem Interview, welches auf der IBC 2016 entstand⁵¹:

Die beiden Sensoren der Kamera sind quadratisch und haben jeweils eine Auflösung von 2048x2048 Bildpunkten. Die Sensoren arbeiten mit einem Global Shutter und können 60 fps aufnehmen. Die Besonderheit dieses Systems liegt in der manuellen Bedienung verschiedener Parameter wie beispielsweise Verschlusszeit, Gain oder ND-Filter der einzelnen Kameras.

Die Kamera produziert eine hohe Datenrate von 6000 mbit/s, welche durch RAW Format der Videos entsteht. Um eine solche Datenmenge verarbeiten zu können, besteht das Kamerasystem, neben der Kamera mit beiden Objektiven, zusätzlich aus einem externen Recorder, der mit einem Gewicht von ca. 5 kg das schwerste Glied des Systems ist. Dieser soll mit SSDs ausgestattet sein und samt Kabeln und Zubehör geliefert werden. Eine lange Akkulaufzeit wird durch das Betreiben des Systems mit V-Mount Batterien gewährleistet. Das Stitching des entstandenen Videomaterials kann mit einer Software wie Autopano umgesetzt werden. Im Preis der Kamera ist keine Softwarelizenz enthalten. Bisher besteht die Möglichkeit die Einzelbilder der Kamera auf einem Vorschaumonitor zu betrachten. Weiterführend ist ein Vorschausystem zur sphärischen Betrachtung geplant. Die Ausleihe der Kamera ist bei einem Mietpreis von 600 € am Tag möglich.

⁵¹ Vgl. cinema5D (Hrsg.): Indiecaml nakedEYE is First Compact VR RAW Camera – 12bit 4k 60p. <https://www.cinema5d.com/indiecam-nakedeye-vr-raw-camera-shoots-12bit-4k-60p/>, Zugriff: 16.02.17.

8.1.5 Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten

Nach der Betrachtung und dem Vergleich der weitwinkelbasierten 360°-Videoaufnahmesysteme erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse. Dabei können in Bezug auf die verglichenen Kamerasysteme verschiedene Aussagen zu dem weitwinkelbasierten System getroffen werden.

Die unterschiedlichen Kameramodelle sind in einem Bereich von 92 bis 9500 € erhältlich, wobei keine generelle Aussage zur Abhängigkeit zwischen Videoqualität und Preis getroffen werden kann. Dies erschließt sich aus der Platzierung der Modelle mit und ohne Betrachtung des Kostenfaktors.

Bei weitwinkligen Aufnahmesystemen werden CMOS Sensoren benutzt, die eine Größe von 1/4“ bis 1/2,3“ haben und zwischen 4 und 21 MP besitzen. Die maximal mögliche Videoauflösung schwankt zwischen 1920 x 960 und 4096 x 2048. Die Bildwiederholrate kann bei 20, 30, 60, 120 und 240 liegen, wobei die Mehrzahl der Kameramodelle mit 30 fps aufzeichnet. Bis auf die Kamera Indiecam nakedEYE verwenden alle Systeme den Codec H.264.

Die leichteste Kamera wiegt nur 67 g, der schwerste Kamerabody wiegt fast ein halbes Kilo. Eine Ausnahme bildet auch hier wieder die nakedEYE, welche als gesamtes System 5380 g schwer ist. Mit einer maximalen Kamerakopfgröße von 15,8 cm sind diverse Kamerapositionen umsetzbar. Bei allen Modellen der weitwinkelbasierten 360°-Aufnahmesysteme ist eine Vorschau des Kamerabildes über ein mobiles Gerät möglich. Bis auf das Ausnahmmodell naked-EYE wird von allen Herstellern eine eigene Stitchingsoftware mitgeliefert oder erfolgt das Stitching direkt in der Kamera. Der Großteil der Kameras ist, aufgrund der Akkulaufzeit und Speicherkapazität, für kurze Videos ausgelegt. Der Mindestabstand wurde nur von drei Herstellern angegeben und beträgt im Mittel 17 cm. Viele der Kameramodelle wurden in Tests als bedienfreundlich bewertet. Livestreaming ist nur bei einigen wenigen Modellen, wie beispielsweise der Ricoh Theta S möglich.

Durch zwei Optiken existiert bei weitwinkligen Systemen nur eine Stitchinglinie. So ist es für Personen, die aufgenommen werden sollen, leichter, sich bei Bewegungen auf einen Bildbereich zu beschränken. Dadurch können Fehler bei Bewegungen durch die Stitchinglinie verhindert werden.

Insgesamt sind die Kameramodelle der weitwinkelbasierten Gruppe durch ihren Preis und andere Parameter, wie Bedienfreundlichkeit, Gewicht und mitgelieferter Stitchingsoftware eher an Consumer oder semiprofessionelle Anwender gerichtet. Das Kamerasystem nakedEYE beweist jedoch, dass die Technologie ebenfalls für professionelle Nutzung geeignet ist.

8.2 Mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme

8.2.1 Funktionsweise

Ein weiterer Weg, ein 360°-Video aufzunehmen, führt über das Zusammensetzen mehrerer Kamerabilder zu einer sphärischen Darstellung. Dieses Verfahren kann man als mosaikbasiertes Aufnahmeverfahren bezeichnen. Wie bereits in Kapitel Mosaikbasiertes 360° - Aufnahmesystem definiert, muss eine Kamera dieser Gruppe aus mehr als zwei Kameras bestehen. Dabei ist durch die hohe Anzahl an Kameras nicht zwingend ein FoV von mindestens 185° pro Optik notwendig.

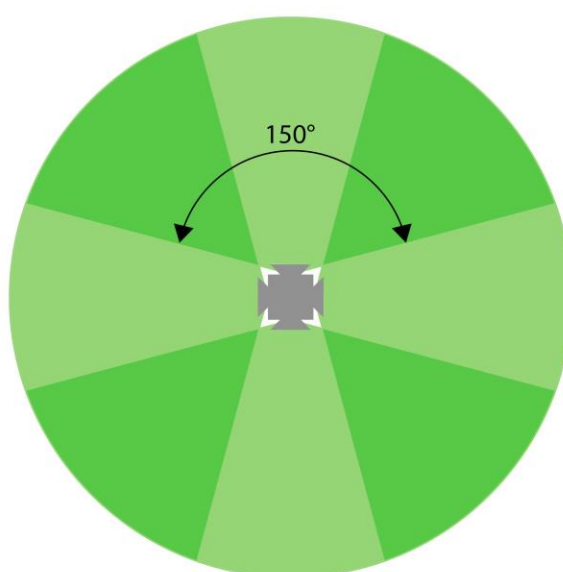


Abbildung 24 - **Sichtfeld einer 4-Optiken-Kamera** (Eigene Darstellung, 2017.)

Wie in Abbildung 24 dargestellt, beträgt der horizontale AoV jeder Kamera 150°. Durch die Anordnung von vier Kameraoptiken in der Horizontalen kann das FoV von 360° ausreichend abgedeckt werden. Die sich überschneidenden Sichtfelder der Kameras sind in diesem Fall sehr groß und in dunkelgrün gekennzeichnet. Mosaikbasierte 360°-Kameras arbeiten meist mit Weitwinkelobjektiven, weil dadurch ein großer Überschneidungsbereich gewährleistet wird. Auch bei diesem System sind die Bildwinkel der einzelnen Kameras meist identisch.

Die Anzahl der Stichtlinien nimmt bei dieser Gruppe mit der Anzahl der Optiken eines Modells zu. Jedoch nimmt auch der Überschneidungsbereich der Sichtfelder bei konstantem AoV zu. Das equirektangulare Bild kann maximal die Summe der Auflösungen der einzelnen Sensoren eines Modells besitzen.

8.2.2 Wichtung der Kriterien

Für den Vergleich der mosaikbasierten Systeme wird ein Test von Systemkameras als Referenz (siehe Anhang 3) herangezogen. Bei diesem Test von Systemkameras geht die Handhabung mit 30% in die Wertung ein und wird für die Gewichtung der Bedienfreundlichkeit bei mosaikbasierten Systemen übernommen. Auch hier wird die Gewichtung des Kostenfaktors bei 10% festgelegt. Bei mosaikbasierten Kamerasystemen geht die Qualität des sphärischen Videos nur zu 5% ein. Für die Wichtung der Videoqualität bleiben damit 55%.

Kriteriengruppe	Gruppen-gewicht (%)	Kriterium	Kriteriumsgewicht innerhalb der Gruppe (%)	Gesamtgewicht des Kriteriums (%)
Kostenfaktor	10	Preis mittel	100	10,00
Videoqualität	55	Anzahl Sensoren	25	13,75
		Größe Sensoren	15	8,25
		Auflösung Sensor	15	8,25
		max Auflösung Video	30	16,50
		max. Bildwiederholrate	15	8,25
Bedienfreundlichkeit	30	Gewicht	20	6,00
		Größe/max. Maße	20	6,00
		Vorschaumonitor vorhanden	5	1,50
		Stitchingsoftware vorhanden	10	3,00
		max. Speicherkapazität	10	3,00
		Aufzeichnungsdauer	10	3,00
		Akkulaufzeit	20	6,00
		Mindestabstand	5	1,50
Qualität des sphärischen Videos	5	Anzahl Optiken	80	4,00
		stereoskopisch möglich	20	1,00

Tabelle 10 - **Gewichtung mosaikbasierte Systeme** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Für die Vergabe der Punkte wurde ebenfalls eine gruppenspezifische Wertungsmatrix erstellt (siehe Anhang 5).

8.2.3 Vergleich mosaikbasierter 360°-Aufnahmesysteme

Auch bei dieser Gruppe wurde die Nutzwertanalyse angewandt, um die verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen.

Kameramodell /Kriterium	Gewichtung (%)	Bubl Bublcam	Nutzwert	DETU VR Camera F4	Nutzwert	Orah Orah 4i	Nutzwert
Preis mittel	10	10	100	10	100	10	100
Anzahl Sensoren	13,75	1	13,75	1	13,75	1	13,75
Auflösung Sensor	8,25	2	16,5	10	82,5	3	24,75
max Auflösung Video	16,5	2	33	8	132	3	49,5
max Bildwiederholrate	8,25	1	8,25	4	33	1	8,25
Gewicht	6	10	60	9	54	3	18
Größe	6	10	60	7	42	10	60
Vorschaumonitor	1,5	5	7,5	5	7,5	5	7,5
Stitchingsoftware	3	10	30	10	30	10	30
max Speicherkapazität	3	1	3	1	3	4,5	13,5
Akkulaufzeit	6	5	30	10	60	10	60
Anzahl der Kameraoptiken stereoskopisch	4	1	4	1	4	1	4
	1	1	1	1	1	1	1
			367		562,75		390,25

Tabelle 11 - Nutzwertberechnung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

GoPro Omni	Nutzwert	Sphericam Sphericam 2	Nutzwert	Human Eyes VUZE	Nutzwert	Nokia OZO	Nutzwert
10	100	10	100	10	100	1	10
5	68,75	5	68,75	10	137,5	10	137,5
10	82,5	1	8,25	1	8,25	1	8,25
10	165	1	16,5	2	33	5	82,5
10	82,5	4	33	1	8,25	1	8,25
7	42	10	60	10	60	1	6
8	48	10	60	8	48	1	6
1	1,5	5	7,5	5	7,5	5	7,5
10	30	10	30	10	30	10	30
10	30	4,5	13,5	4,5	13,5	6	18
10	60	1	6	5	30	5	30
5	20	5	20	10	40	10	40
1	1	1	1	10	10	10	10
	731,25		424,5		526		394

Tabelle 12 - Nutzwertberechnung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Hier wurde ebenfalls die Nutzwertsumme mit und ohne Einbeziehung des Preises berechnet. Durch dieses Vorgehen wird folgendes Ergebnis erzielt:

Platz	Kameramodell	Nutzwertsumme	Nutzwertsumme ohne Preis	Platz ohne Preis
1	GoPro Omni	731,25	631,25	1
2	DETU VR Camera F4	562,75	462,75	2
3	Humaneyes VUZE	526	426	3
4	Sphericam 2	424,5	324,5	5
5	Nokia OZO	394	384	4
6	Orah 4i	390,25	290,25	6
7	Bublcam	367	267	7

Tabelle 13 - Platzierung mosaikbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Platz 1 – GoPro Omni



Abbildung 25 - GoPro Omni (Quelle: GoPro, Inc. (Hrsg.): Technische Daten. <http://de.shop.gopro.com/EMEA/vr-cameras/omni---all-inclusive/MHDHX-006-EU.html>, Zugriff: 16.02.17.)

Der Sieger mit und ohne Beachtung des Kostenfaktors ist in diesem Vergleich das Kameramodell GoPro Omni. Dieses Rig aus sechs vollsynchronisierten GoPro Hero 4 black konnte volle 10 Punkte sowohl bei den Kriterien zur Videoqualität als auch bei der maximalen Speicherkapazität und Akkulaufzeit erreichen. Dieses Kamerasystem ist mit sechs 12 MP Sensoren ausgestattet, die Videos in 4K aufzeichnen können. Das Stitching der Kamera kann mit der Stitchingssoftware Autopano von Kolor erfolgen, für welche es beim Kauf einer GoPro Omni eine Lizenz dazu gibt.⁵² Die aufgezeichneten Videos jeder Kamera müssen jedoch einzeln überspielt werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass eine Vorschau nur von einer einzelnen Kamera durch das anschließen eines mini-HDMI Kabels möglich ist. Während der Aufnahme kann keine Vorschau des Kamerabildes ermöglicht werden.

⁵² Vgl. GoPro, Inc. (Hrsg.): Technische Daten. <https://de.shop.gopro.com/EMEA/vr-cameras/omni---all-inclusive/MHDHX-006-EU.html>, Zugriff:17.02.17.

Platz 2 – DETU VR Camera F4



Abbildung 26 - **DETU VR Camera F4** (Quelle: *The Fulldome Blog* (Hrsg.): Detu: F4. <https://thefulldomeblog.com/2015/11/17/collection-of-360-video-rigs/>, Zugriff: 16.02.17.)

Die Kamera F4 vom Hersteller DETU überzeugt im Vergleich neben dem Preis ebenfalls mit 12 MP rückwärtig belichteten Sony-Sensoren und einer Akkulaufzeit von drei Stunden. Sie kann ebenfalls über einen Feststromanschluss betrieben werden und kann damit auch auf längeren Live-Einsätzen überzeugen. Gestreamt werden kann mit der herstellereigenen Software „DeLive“.⁵³ Laut Angabe des Herstellers ist eine Auflösung des sphärischen Videos in 6K möglich. Im Vergleich belegt die Kamera von DETU mit vier Optiken und Sensoren den zweiten Platz, sowohl ohne als auch mit Einbeziehung des Preises.

Platz 3 – Humaneyes VUZE



Abbildung 27 - **Humaneyes VUZE** (Quelle: *Human Eyes* (Hrsg.): VUZE Camera. <http://vuze.camera/>, Zugriff: 16.02.17.)

Die relativ neue Kamera VUZE, welche vom Hersteller Humaneyes angeboten wird, belegt im Vergleich Platz 3. Obwohl der Preis von 899 € niedrig für eine stereoskopische 360°-Kamera ist, bleibt sie auch ohne Einbezug des Preises auf Platz 3. Sie ist mit acht HD fähigen Optiken ausgestattet, sodass in vier verschiedene Richtungen geschaut werden kann. Ungewöhnlich ist hier die Ausrichtung des FOV durch einen horizontalen AOV von 120°, während der vertikale AOV 180° beträgt. Durch die spärliche Überschneidung an den Polen des sphärischen Bildes können schlecht gestitchte Videos entstehen. Auch der 3D Effekt kommt demzufolge vor allem in der horizontalen Ebene zur Geltung. Im Lieferumfang der 360°-Kamera VUZE sind ebenfalls ein herstellereigenes Schnitt- und Stitchingprogramm, sowie eine VR-Brille enthalten. Die Kamera ist anhand des Preises und der niedrigen Auflösung eher an Consumer gerichtet. Sie erscheint dieses Jahr am 17. März.⁵⁴

⁵³ Vgl. Detu.com (Hrsg.): F4. <http://cam.detu.com/en/f4>, Zugriff: 17.02.17.

⁵⁴ Vgl. VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): Virtual Reality: 360°-Kamera Vuze filmt in 3D und 4K, erscheint am 7. März. <https://vrod.de/virtual-reality-360-kamera-vuze-filmt-in-3d-und-4k-erscheint-am-7-maerz/>, Zugriff: 17.02.17.

Sphericam 2



Abbildung 28 - **Sphericam 2** (Quelle: Sphericam Inc. (Hrsg.): *Products*. <http://www.sphericam.com/sphericam2/>, Zugriff: 16.02.17.)

Die Sphericam 2 besitzt die Möglichkeit, durch internes Echtzeitstitching, live zu Streamen. Mit nur 420 g ist sie so leicht, dass sie an vielen Drohnen befestigt werden kann.⁵⁵ Die Preisspanne von 1522 € bis 2194 € ist für Platz 4 im Vergleich mitentscheidend. Ohne die Einbeziehung des Preises schafft es diese Kamera nur auf Platz 5. Die sechs Kamerasensoren arbeiten mit einem Global Shutter und können gemeinsam ein sphärisches Bild in 4K Auflösung erzeugen. Die Auflösung eines einzelnen Sensors beträgt 1280 x 960 Bildpunkte. Diese Kamera richtet sich vor allem auf Grund ihrer relativ niedrigen Auflösung an Consumer.

Nokia OZO



Abbildung 29 - **Nokia OZO** (Quelle: c't Digitale Fotografie (Hrsg.): *Nokia startet Verkauf der Virtual-Reality-Kamera Ozo*. <https://www.heise.de/foto/meldung/Nokia-startet-Verkauf-der-Virtual-Reality-Kamera-Ozo-3029093.html?hg=1&hgi=4&hgf=false>, Zugriff: 17.02.17.)

Die Kamera OZO vom Hersteller Nokia landet in diesem Vergleich auf Platz 5. Dafür ist unter anderem auch der hohe Preis verantwortlich, welcher bei derzeit 40.000 € liegt und sich damit definitiv an professionelle Anwender richtet. Die Kamera wird ebenfalls von mehreren Technikverleihen zur Miete angeboten. Ohne die Einbeziehung des Preises belegt dieses Kameramodell Platz 4. Jede Optik deckt einen Sichtwinkel von 195° ab. Die Kamera ist mit acht Sensoren ausgestattet, die bei einer maximalen Framerate von 30 fps eine Videoauflösung von 2048 x 2048 Bildpunkten liefern. Durch die Größe ist ein Mindestabstand von 50 cm zur Kamera zu gewährleisten. Zusätzlich befindet sich am hinteren Ende der Kamera ein etwas größerer Blindspot, da dort nur wenige Kameras sitzen. Jedoch kann dieser tote Winkel zum Verstecken von Kabeln usw. dienen. Der stereoskopische Effekt, den die Kamera bietet, kann nur in frontaler Betrachtungsrichtung optimal genutzt werden.⁵⁶ Der Hersteller bietet dazu mehrere eigene Bearbeitungsprogramme für den Computer, in welchen man ebenfalls eine sphärische Vorschau erhalten kann.

⁵⁵ Vgl. Digital photo (Hrsg.): *Rundumblick in 4K-Qualität: Sphericam 2*.

<http://www.digitalphoto.de/news/rundumblick-4k-qualitaet-sphericam-2-100257335.html>, Zugriff: 17.02.17.

⁵⁶ Vgl. Youtube LLC. (Hrsg.): *First Look: Nokia OZO*. <https://www.youtube.com/watch?v=HuYpOBp1Q-M>, Zugriff: 17.02.17.

Orah 4i



Abbildung 30 - **Orah 4i** (Quelle: B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): *Orah 4i Live Spherical VR Camera*, https://www.bhphotovideo.com/c/product/1244320-REG/orah_4i_live_vr_camera.html, Zugriff: 16.02.17.)

Die Kamera Orah 4i besteht aus zwei Teilen, dem Kamerakopf und einer Stitchingbox. Sie ist in der Lage live zu Streamen, kann aber auch zur Aufzeichnung von 360°-Videos verwendet werden. Mit einem H.264-Codec erzeugt sie eine kleine Datenrate von 5-50 Mbit/s. Betrieben wird sie dabei über einen Feststromanschluss oder V-Mount Akkus. Sie ist mit vier Sony Exmor Sensoren ausgestattet und kann eine maximale Videoauflösung von 2048 x 1536 Bildpunkten pro Optik bei maximal 30 fps erzielen. Bei der Platzierung spielt der Preis keine Rolle. Die Orah 4i belegt im Vergleich Platz 6.

Bublcam



Abbildung 31 - **Bublcam** (Quelle: *Bubi* (Hrsg.): *Products*. <https://www.bublcam.com/products/bublcam>, Zugriff: 16.02.17.)

Den letzten Platz des Vergleiches, Platz 7, sichert sich die Kamera Bublcam, sowohl mit als auch ohne die Einbeziehung des Kostenfaktors. Dieser beträgt hier lediglich 716 €. Diese Kamera ist auch durch ihren Preis eher an Consumer gerichtet und besitzt vier Optiken. Die vier Sensoren können bei einer Full HD – Videoaufzeichnung 15 Bilder pro Sekunde aufnehmen. Auch mit diesem Modell können Videos live gestreamt oder auf Speicherkarten aufgezeichnet werden. Pluspunkte gab es im Vergleich für das geringe Gewicht von 280 g und die Größe von 8 x 8 cm.

8.2.4 Gegenüberstellung mosaikbasierter Aufnahmesysteme mit mehr als acht Optiken

Durch die große Anzahl an Optiken stechen zwei Kamerasysteme im Besonderen aus der Gruppe der mosaikbasierten 360°-Videoaufnahmesysteme heraus. Dies sind die Kamera Facebook Surround 360 und Jaunt ONE J1-24G, welche im Folgenden genauer betrachtet werden. Dabei werden die Kamerasysteme zuerst beschrieben und danach anhand der Datensammlung gegenübergestellt (siehe Anhang 8 - **Datensammlung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)).

Facebook Surround 360



Abbildung 32 - **Facebook Surround 360** (Quelle: facebook360 (Hrsg.): facebook SURROUND 360. <https://facebook360.fb.com/facebook-surround-360/>, Zugriff: 16.02.17.)

Das System Surround 360 wurde von Facebook entwickelt. Die Ressourcen zum Nachbau wurden auf der Plattform GitHub kostenlos zur Verfügung gestellt.⁵⁷ Dabei verfolgt Facebook das Ziel, Filmemachern das Erstellen von 360°-Formaten zu ermöglichen, um diese Inhalte dann auf Facebook zu teilen.⁵⁸ Allein um die Einzelteile zu beschaffen, müssen ca. 30.000 € investiert werden.⁵⁹ Im Vergleich zur Kamera Nokia OZO, die derzeit für 40.000 € verkauft wird, ist dies in Relation zur Anzahl der verbauten Kameras jedoch wenig.

Insgesamt sind 17 Kameras verbaut. Davon decken 14 Kameras, auf einer horizontalen Ebene angeordnet, je einen Bildwinkel von 77° ab und drei Kameras, die an der Ober- und Unterseite des Systems verbaut sind decken jeweils 185° ab. Die verbauten Kameras arbeiten mit 1" Sensoren, welche jeweils eine Auflösung von 4,1 MP haben. Die maximale Videoauflösung jeder Kamera beträgt 2048 x 2048 Bildpunkte bei 60 fps. Die Kameras zeichnen bei einem Dynamikumfang von 54 dB im RAW-Format auf. Die dabei erzeugte Datenrate beträgt 17000 Mbit/s. 46 cm misst das Kamerasystem in der Breite und bringt 16 kg auf die Waage. Durch die vielen Kameras in der horizontalen Ebene kann das aufgenommene Material in der Postproduktion

⁵⁷ Vgl. GitHub, Inc. (Hrsg.): Surround 360. <https://github.com/facebook/Surround360>, Zugriff: 17.02.17.

⁵⁸ Vgl. Vox Media Inc. (Hrsg.): Facebook is giving away the blueprints to its 360-degree video camera. Now please give Facebook more video. <http://www.theverge.com/2016/7/26/12260502/facebook-surround-360-degree-video-camera-open-source>, Zugriff: 17.02.17.

⁵⁹ Vgl. Golem.de (Hrsg.): FACEBOOK SURROUND 360: Videokamera für Rundum-3D-Videos ist Open Source. <https://www.golem.de/news/facebook-surround-360-videokamera-fuer-rundum-3d-videos-ist-open-source-1604-120291.html>, Zugriff: 17.02.17.

stereoskopisch verarbeitet werden. Das System ist aufgrund des hohen Preises und des Eigenbaus für professionelle Anwender gedacht.

Jaunt ONE J1-24G



Abbildung 33 - **Jaunt ONE J1-24G** (Quelle: Radiant Images (Hrsg.): JAUNT ONE. <http://radiantimages.com/virtual-reality/vr360/1045-jaunt-one>, Zugriff: 16.02.17.)

Dieses Kameramodell ONE J1-24G von Jaunt besteht aus 24 Kameras, die jeweils ein FoV von 130° abdecken können. Dabei befinden sich 16 dieser Kameramodule in einer horizontalen Ebene und jeweils 4 Kameras auf der Ober- und Unterseite. Pro Modul ist ein 1/1,2“ Sensor verbaut, der mit einem Global Shutter arbeitet. Auch hier können Videos mit 2048 x 2048 Bildpunkten aufgezeichnet werden. Die Bildwiederholrate beträgt maximal 120 fps. Bei dieser Kamera wird das Material im RAW Format mit einem Dynamikumfang von 60 dB aufgezeichnet. Die Kamera wiegt ca. 10,5 kg und ist damit fast 5,5 kg leichter als die Surround 360 von Facebook. Die Breite der Kamera beträgt 32,5 cm. Auch dieser Wert ist also etwas besser als jener der Surround 360. Die Jaunt ONE kann ebenfalls stereoskopisches Material produzieren. Zudem bietet die Firma Jaunt über einen Cloudservice das Stitchen des Materials an. Gekauft werden kann dieses System nicht. Zu einem Preis von 4.500 US-Dollar pro Tag kann man dieses Aufnahmegerät von verschiedenen Kameraverleihen mieten.

Insgesamt unterscheiden sich diese beiden hervorstechenden Systeme durch die Anzahl der Kameramodule, die maximale Bildwiederholrate, den Dynamikumfang und die physischen Werte, wie Gewicht und Größe. In diesen Werten kann die Jaunt ONE J1-24G den Vergleich für sich entscheiden. Die Facebook Surround 360 überzeugt jedoch mit größeren Sensoren.

8.2.5 Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten

Nach der Betrachtung von mosaikbasierten 360°-Videoaufnahmesystemen können folgende Aussagen getroffen werden: Die Platzierung der Kameras in Kapitel 8.2.3 ist bis auf zwei Kameramodelle preisunabhängig. Dabei werden die verschiedenen Systeme in einer Preisspanne von 716 € bis 40.000 € angeboten. Derzeit werden meist Systeme mit einer geraden Anzahl an Kameraoptiken verkauft. Eine Ausnahme bildet das Kameramodell Facebook Surround 360.

In dieser Gruppe werden CMOS Sensoren verwendet, die eine Auflösung zwischen 4,1 MP bis 12 MP haben können. Von HD über 2K bis 4K sind dabei alle Videoauflösungen vertreten. Videos können mit 30, 60 und 120 fps aufgenommen werden. Während auch bei mosaikbasierten Aufnahmesystemen der Codec H.264 verwendet wird, gibt es teilweise die Möglichkeit im RAW Format aufzuzeichnen. Dabei entstehen Datenraten von 5 bis 17.000 Mbit/s.

In der Größe variieren die Kameramodelle von 7,7 cm bis zu Maßen von 46 cm. Eine große Spanne herrscht ebenfalls beim Gewicht der Kameras. Das leichteste Modell wiegt lediglich 280 g während das schwerste, die Facebook Surround 360, 16 kg wiegt. Im Gegensatz zu den weitwinkelbasierten Kamerasystemen ist eine Vorschau des Kamerabildes nicht bei allen Modellen oder nur über einen Computer möglich. Ebenfalls wird nicht jede Kamera mit einer Stitchingsoftware oder einer Lizenz für eine Software geliefert. Durch die Möglichkeit einiger Kameras einen Livestream zu senden, sind diese auf einen Feststromanschluss angewiesen. Da ein Feststromanschluss jedoch das Vorhandensein eines Akkus nicht ausschließt, ist die Mobilität der Kamerasysteme nicht eingeschränkt. Das Aufnehmen von stereoskopischen Videos ist ab einer Anzahl von acht Optiken und Sensoren prinzipiell möglich.

Ein Vorteil von mosaikbasierten 360°-Aufnahmesystemen ist das Entstehen eines großen Überschneidungsbereiches zwischen den Sichtfeldern der Kameraoptiken. Zusätzlich kann die resultierende Auflösung des sphärischen Materials durch viele Kamerasensoren größer werden, als bei einer beschränkten Anzahl. Durch den hohen Materialaufwand bei der Herstellung einer mosaikbasierten Kamera entsteht ein relativ hoher Preis. Dies kann neben der hohen Anzahl an potenziell sichtbaren Stichlinien und einer großen Datenmenge bei großer Anzahl an Kameramodulen ein Nachteil der mosaikbasierten Systeme sein.

8.3 Lichtfeldbasierte 360°-Aufnahmesysteme

Um VR-Videos zu erstellen, haben die bereits genannten 360°-Aufnahmesysteme nicht die technischen Voraussetzungen. Wie bereits in Kapitel - erläutert, kann man sich beim Betrachten eines VR-Videos bewegen und dadurch seine Position in diesem Video verändern. Dies ist bei einigen Computerspielen bereits möglich. Dafür sind computergenerierte Inhalte nicht so realistisch wie ein Video, das von einer 360°-Kamera aufgenommen wurde. Die Firma Lytro entwickelte daher eine Kamera, die mithilfe von Lichtfeldtechnik alle Bildwinkel abdeckt und Videomaterial aufnimmt, mit welchem VR-Videos generiert werden können.⁶⁰ Dabei werden sowohl der hohe Grad der Immersion als auch der hohe Grad an Realismus vereint, wie in Abbildung 34 dargestellt wird.

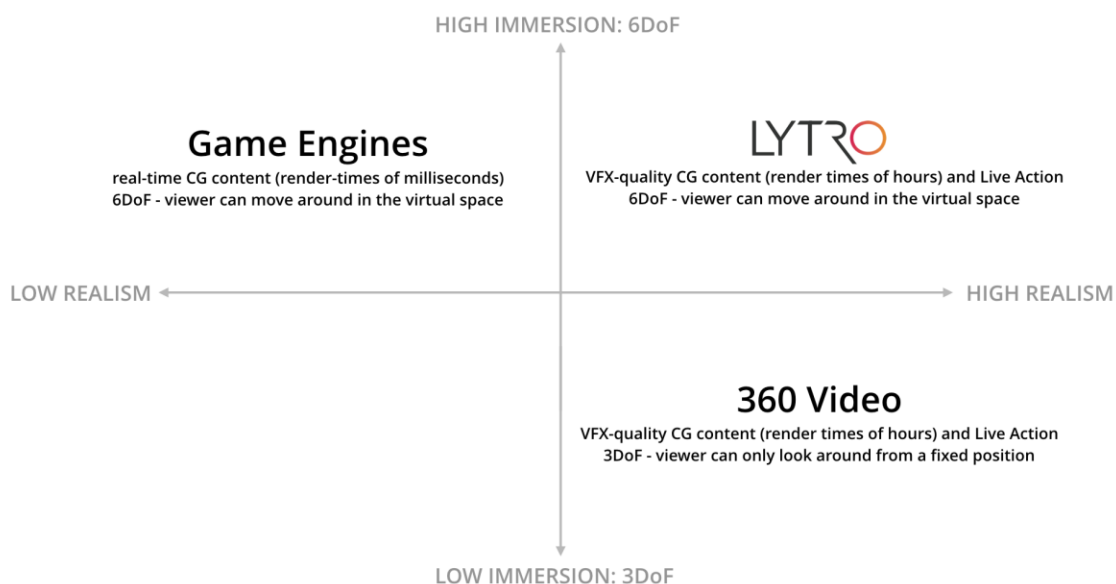


Abbildung 34 - **Immersion und Realismus** (Quelle: Lytro (Hrsg.): *A Seminal Day in VR: Announcing Moon*. <http://blog.lytro.com/vr-announcing-moon/>, Zugriff: 18.02.17.)

In Abbildung 34 sind die Kennwerte der Immersion als „3DoF“ und „6DoF“ angegeben. Dabei bedeutet die Abkürzung DoF Degrees of Freedom und beschreibt das Maß der Bewegungsfreiheit, welche man in einem VR-Video hat. Streng genommen ist ein Video mit lediglich 3DoF noch keine Virtuelle Realität. Die ersten drei DoF sind Pitch, Roll und Jaw. Diese drei Arten der Bewegung drehen sich jeweils um eine Achse. Sie können bereits beim Betrachten eines 360°-Videos erfahren werden. Weitere drei Degrees of Freedom bewegen sich entlang geradlinigen Achsen vom Zentrum der Bewegung aus und nennen sich Up/Down, Forward/Backward und Left/Right (siehe Abbildung 34).

⁶⁰ Vgl. Lytro (Hrsg.): LYTRO IMMERGE. <https://www.lytro.com/immerge#immergeDetails>, Zugriff: 18.02.17.

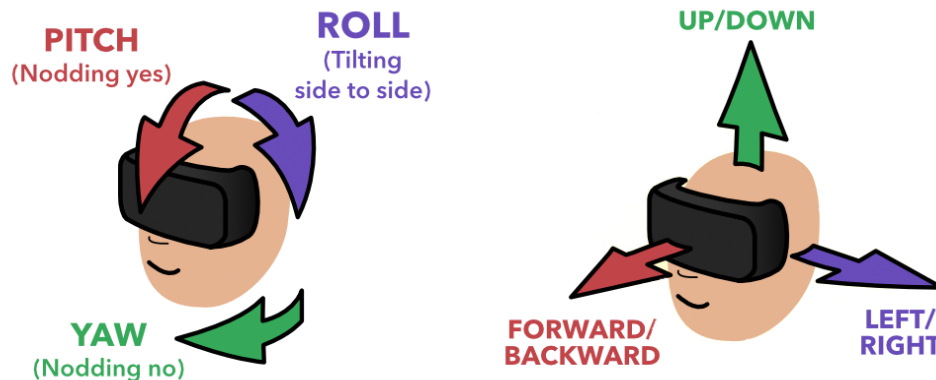


Abbildung 35 - **6 Degrees of Freedom** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017, in Anlehnung an: Solve for Interesting (Hrsg.): 24H IN VR 0:00-0:23: ELECTRIC MONK. <http://solveforinteresting.com/24h-in-vr-000-023-electric-monk/>, Zugriff: 18.02.17.)

8.3.1 Funktionsweise

„Ein Lichtfeld wird durch die Anzahl von Lichtstrahlen innerhalb eines spezifischen Bereichs definiert. Wenn alle Lichtstrahlen innerhalb einer Szene aufgenommen werden, kann daraus eine Ansicht aus allen möglichen Positionen und mit allen Tiefenschärfeninformationen rekonstruiert werden.“⁶¹ Während eine herkömmliche Kamera lediglich die Parameter eines zweidimensionalen Bildes (2D-Bild) aufzunehmen vermag, kann man durch ein plenoptisches Kameraaufnahmesystem große Teile des Lichtfelds im aufgenommenen Bereich einfangen und somit fünfdimensionale Daten der aufgenommenen Situation erhalten. Dieses Lichtfeld errechnet sich durch den zusätzlichen Parameter der Raumrichtung und des Ortes⁶², durch welche bei der Auswertung und Verrechnung der aufgenommenen Daten ein genaues Modell der Situation erstellt werden kann.

Um solche Bilder und Videos einfangen zu können, muss die Szene aus verschiedenen Positionen aufgenommen werden. Dies geschieht bei der Kamera Lytro Immerge durch ein dichtbesetztes sphärisches Kameraarray. Die dabei entstehenden Daten sind ausreichend, um eine Rekonstruktion der Szene zu ermöglichen. Die Bewegung bei der späteren Betrachtung dieses sphärischen Bildes kann etwa im Umfang der Kameraße geschehen.⁶³

⁶¹ Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.): Lichtfeld - Aufnahme und Verarbeitung. <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/bsy/tech/lichtfeld.html>, Zugriff: 19.02.17.

⁶² Vgl. Beyerer, Jürgen / Puente León, Fernando / Frese, Christian: Automatische Sichtprüfung. Grundlagen, Methoden und Praxis der Bildgewinnung und Bildauswertung. Berlin Heidelberg, 2012, Seite 349f.

⁶³ Vgl. Lytro (Hrsg.): What is a Light Field Volume. <http://blog.lytro.com/what-is-a-light-field-volume/>, Zugriff: 19.02.17.

8.3.2 Beschreibung der Lichtfeldkamera Lytro Immerge



Abbildung 36 - **Lytro Immerge Kamerakopf** (Quelle: t3n (Hrsg.): *Lytro Immerge: Die Virtual-Reality-Kamera für das Kino von morgen.* <http://t3n.de/news/lytro-immerge-654223/>, Zugriff: 18.02.17.)

Die Lichtfeldkamera Lytro Immerge ist die einzige 360°-Kamera, die mithilfe der Aufnahme eines Lichtfeldes das Material für VR-Videos aufnehmen kann. Da die Kamera derzeit noch nicht verfügbar ist, findet man kaum Informationen zu den technischen Spezifikationen dieses Kameramodells. Es ist bekannt, dass dieses System „[...] hunderte[...] Linsen und Sensoren, die in fünf Segmenten kreisförmig aneinandergereiht sind“⁶⁴, enthält. Durch zusätzliche Mikrolinsen auf den Sensoren lässt sich die Richtung feststellen, aus der Lichtstrahlen einfallen. Die Lytro Immerge soll zu schwer für eine Drohne sein und lediglich auf einem Stativ oder einem Dolly betrieben werden können. Sie kann so konfiguriert werden, dass beispielsweise nur 180° der Umgebung aufgenommen werden. Durch die Aufnahme vieler zusätzlicher Parameter entsteht eine enorm große Datenmenge, welche verarbeitet werden muss. Zur Verarbeitung dieser dient der dazugehörige Server, der dennoch maximal eine Stunde Videomaterial aufnehmen kann.⁶⁵ Der Hersteller Lytro bietet zum Bearbeiten des Materials ein Software-Plugin für Nuke, Final Cut Pro und den AVID Media Composer an.⁶⁶ Außerdem existiert eine herstellereigene Software zum Betrachten des entstandenen Videos über VR-Brillen und den Computer, ohne Qualitätseinschränkung durch sichtbare Stitchinglinien.⁶⁷ „Die Lytro Immerge soll ab Anfang des nächsten Jahres verfügbar sein. Einen genauen Preis wollte Lytro-Chef Rosenthal zwar nicht nennen, aber die Kamera wird mit mehreren hunderttausend US-Dollar zu Buche schlagen.“⁶⁸ Dieses Kameramodell ist an professionelle Anwender gerichtet.

⁶⁴ t3n (Hrsg.): *Lytro Immerge: Die Virtual-Reality-Kamera für das Kino von morgen.* <http://t3n.de/news/lytro-immerge-654223/>, Zugriff: 18.02.17.

⁶⁵ Vgl. ebd.

⁶⁶ Vgl. Golem.de (Hrsg.): *LYTRO IMMERGE: Lytro stellt 360-Grad-Lichtfeldkamera vor.* <https://www.golem.de/news/lytro-immerge-lytro-stellt-360-grad-lichtfeldkamera-vor-1511-117317.html>, Zugriff: 19.02.17.

⁶⁷ Vgl. Lytro (Hrsg.): *What is a Light Field Volume.* <http://blog.lytro.com/what-is-a-light-field-volume/>, Zugriff: 19.02.17.

⁶⁸ t3n (Hrsg.): *Lytro Immerge: Die Virtual-Reality-Kamera für das Kino von morgen.* <http://t3n.de/news/lytro-immerge-654223/>, Zugriff: 18.02.17.)

8.3.3 Zusammenfassung der gruppenbezogenen Daten

Lichtfeldbasierte 360°-Videoaufnahmesysteme bilden die einzige Gruppe, mit der tatsächlich VR-Videos erstellt werden können. Ein weiterer Vorteil dieser Technologie ist die hohe Vielseitigkeit durch nachträglich veränderbare Parameter. So können Videos und Bilder, die mit einer solchen Kamera entstanden sind, nachträglich bearbeitet werden, indem die Schärfentiefe oder der Fokus verändert werden kann. Dies könnte beispielsweise für eine gezielte Blickführung in VR-Videos hilfreich sein.

Da es bisher nur ein Kameramodell auf dem Markt gibt, das diese Technik zur Aufnahme anwendet, kann keine verallgemeinernde Aussage zu physischen und andern Faktoren, wie Kosten etc., getroffen werden. Auswertend kann aber behauptet werden, dass lichtfeldbasierte Systeme durch ihre technischen Voraussetzungen eine höhere Anzahl an Optiken und Sensoren haben werden als die bisher betrachteten 360°-Aufnahmesysteme. Dementsprechend hoch werden das Gewicht und der Preis einer solchen Lichtfeldkamera sein. Ein weiterer Nachteil eines solchen Systems ist außerdem die hohe anfallende Datenmenge. Die maximale Größe einer lichtfeldbasierten 360°-Kamera sollte jedoch nicht begrenzt werden, da mit der Größe der Kamera auch die Bewegungsfreiheit des Betrachters eines VR-Videos zunehmen kann.⁶⁹

⁶⁹ Vgl. Lytro (Hrsg.): What is a Light Field Volume. <http://blog.lytro.com/what-is-a-light-field-volume/>, Zugriff: 19.02.17.

9 Gruppenübergreifende Auswertung

In diesem Abschnitt wird eine gruppenübergreifende Auswertung der Ergebnisse und Erkenntnisse, welche im Verlauf der Arbeit erlangt wurden, durchgeführt. Dazu wurde eine tabellarische Übersicht der gruppenbezogenen Daten erstellt.

360°-Aufnahmesystem /Kriterium	weitwinkelbasiert	mosaikbasiert	lichtfeldbasiert
Preisspanne (€)	92 - 9.500	716 - 40.000	>100.000
Anzahl Sensoren	2	4 - 24	>100
Auflösung Sensor (MP)	4 - 21	4,1 - 12	-
max Auflösung Video horizontal	1920 - 4096	1280 - 3840	-
max Auflösung Video vertikal	960 - 2048	960 - 2160	-
max Bildwiederholrate	20, 30, 60, 120, 240	30, 60, 120	-
Gewicht (g)	67 - 5380	208 - 16000	-
Größe (cm)	6 - 15,8	7,7 - 46	-
Vorschaumonitor	möglich	teilweise möglich	möglich
Stitchingsoftware	bis auf 1 Modell vorhanden	teilweise vorhanden	vorhanden
max Speicherkapazität	8 - 2004	-	-
min Aufzeichnungsdauer (min)	-	-	60
min Akkulaufzeit (min)	40 - 120	30 - Feststromanschluss	-
Anzahl der Kameraoptiken	2	4 - 24	>100
stereoskopisch	nein	ja	ja
VR	nein	nein	ja

Tabelle 14 - **Darstellung gruppenbezogener Daten** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, die Kameragruppe zu erörtern, welche die besten Voraussetzungen zur Aufnahme von 360°-Videos besitzt und dabei bei einem günstigen Preis eine gute Handhabung verspricht. Anhand der Kriterien wurde bereits festgelegt, welche Werte als positiv und welche als negativ gewertet werden (siehe Kapitel 7). In Tabelle 14 wurden die Felder grün gezeichnet, die als positiv hervorgehen. Kriterien, bei denen keiner oder nur einer Gruppe ein Wert zugeteilt werden konnte, wurden nicht hervorgehoben.

Die günstigste Gruppe von 360°-Videoaufnahmesystemen ist die der weitwinkelbasierten Kameras. Diese Gruppe überzeugt mit der höchsten Sensorauflösung von 21 MP. Bei der Videoauflösung ist das Zusammenspiel der horizontalen und vertikalen Auflösung von Bedeutung, weshalb diese Angaben für sich betrachtet nicht als Vor- oder Nachteil gedeutet werden können. Eine maximale Bildwiederholrate von 240 fps erreicht eine Kamera der weitwinkelbasierten Systeme. Einen klaren Vorteil besitzen die weitwinkligen Kameras sowohl durch ihr Gewicht als auch durch ihre Größe.

Bei allen Gruppen, außer bei manchen Modellen der mosaikbasierten Gruppe, kann man das Kamerabild über eine Art Vorschaumonitor betrachten. Ähnlich verhält es sich mit dem Vorhandensein von Stitchingsoftware zum Zusammenfügen der Einzelbilder.

Da viele mosaikbasierte Kameramodelle über einen Feststromanschluss verfügen, ist die Laufzeit dieser Geräte fast unbegrenzt. Falls ein solches Gerät aber keinen zusätzlichen Akku enthält, kann dies die Mobilität des Gerätes einschränken.

Ein lichtfeldbasiertes System zeichnet sich vor allem durch die Vielzahl der Kameraoptiken und Sensoren aus. Die Anzahl von über hundert Sensoren wird bisher von keinem anderen System übertroffen. Dadurch wird eine hohe Gesamtauflösung des sphärischen Bildes gewährleistet.

Durch eine reine Aufstellung von Vor- und Nachteilen der Gruppen kann jedoch kein Gewinner festgelegt werden. Eine beste Gruppe kann nur bestimmt werden, wenn der Anwendungsbereich mit in den Vergleich einbezogen und anhand dessen seine Gewichtungen verteilt wird. Je nach Anwendungsgebiet muss entschieden werden, welche Kompromisse gemacht werden können. Möchte man beispielsweise von einem Helm eines Fallschirmspringers aus filmen, so muss man vor allem Wert auf das Gewicht, die Größe und die Befestigungsmöglichkeiten der Kamera legen. Sollen kinematographische Videoaufnahmen erstellt werden, muss das Augenmerk beispielsweise auf der Qualität des Videomaterials liegen. Wenn ein Konzert live übertragen werden soll, kommt nur ein Modell in Frage, bei welchem Echtzeitstitching möglich ist. Ein weiterer Faktor, der je nach Anwender selbst festgelegt werden muss, ist das eigene Budget, dass für den Kauf oder die Miete eines 360°-Videoaufnahmesystems zur Verfügung steht.

Wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit aufgezeigt wurde, ist Virtuelle Realität ein stetig wachsender Trend. Durch die weiteren Möglichkeiten der Bewegungsfreiheit beim Betrachten eines Videos, das mit Lichtfeldtechnologie aufgenommen wurde, setzt diese Technologie neue Maßstäbe. Da ein hoher Grad an Immersion als realer empfunden wird als ein niedriger und man mit einer lichtfeldbasierten 360°-Videoaufnahmetechnik ein sphärisches Abbild ohne sichtbare Stitchinglinien erhalten kann, könnte diese Technik die Zukunft von VR-Videos sein.⁷⁰

⁷⁰ Vgl. VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): VR-Kameras im Vergleich. Lichtfelder. <https://vrodo.de/vr-kameras-im-vergleich/#lichtfelder>, Zugriff: 19.12.17.

10 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Vergleich von 360°-Videoaufnahmesystemen erstellt, bei dem die Kameramodelle in sinnvolle Gruppen zusammengefasst und innerhalb dieser gegenübergestellt wurden. Zur Beantwortung der Frage „Welche Kriterien sind für Bewertung eines Kameramodells bestimmend?“ wurden Kriterien zusammengetragen, die den Kostenfaktor, Aspekte der Videoqualität, Aspekte der Bedienfreundlichkeit und die Qualität des sphärischen Videos beeinflussen. Beispielsweise spielen dabei der Preis, die Anzahl der Optiken und Sensoren, das Gewicht, die Größe und die Akkulaufzeit einer Kamera eine Rolle. Aus diesen Kriterien wurden die Anzahl der Kameraoptiken und andere Parameter ausgewählt, um die verschiedenen Kameramodelle sinnvoll in Gruppen zu unterteilen. Die daraus entstandenen drei Gruppen wurden nach der verwendeten Aufnahmetechnik benannt:

- Weitwinkelbasierte 360°-Videoaufnahmesysteme,
- Mosaikbasierte 360°-Videoaufnahmesysteme und
- Lichtfeldbasierte 360°-Videoaufnahmesysteme.

Anhand der Nutzwertanalyse wurde der Vergleich der einzelnen Kameramodelle innerhalb der Gruppen durchgeführt. Dazu wurden alle nötigen Schritte einer Nutzwertanalyse, inklusive der Gewichtung der Parameter und der Erstellung von Matrizen zur Punkteverteilung, einbezogen. Um die eingangs gestellte Frage nach der besten Kamera dieser Gruppen zu beantworten, wurden die Systeme anhand ihrer errechneten Nutzwertsumme mit und ohne Einbeziehung des Preises platziert. Dadurch wurde eine preisunabhängige Bewertung gewährleistet. Der Sieger der weitwinkelbasierten Gruppe ist die Kamera Nikon Keymission 360. Platz eins der mosaikbasierten 360°-Aufnahmesysteme belegt das Kamerasystem GoPro Omni. Anschließend wurde ein Überblick über die verglichenen 360°-Videoaufnahmesysteme gegeben, indem alle Modelle separat betrachtet wurden.

Des Weiteren sollte eine Kameragruppe ermittelt werden, welche die besten Voraussetzungen zur Aufnahme von 360°-Videos besitzt und dabei bei einem günstigen Preis eine gute Handhabung verspricht. Dabei wurden gruppenbezogene Daten gegenübergestellt und reflektiert. Es ergab sich, dass ein Vergleich je nach Anwendungsgebiet durchgeführt werden muss, um eine solche Frage zu beantworten.

Der Geltungsbereich dieser wissenschaftlichen Arbeit ist durch die Aktualität der Daten beschränkt. In der Einleitung dieser Arbeit wurde ein Einblick in das große Angebot und den ständigen Zuwachs neuer Kameramodelle zur Aufzeichnung von 360°-Material gegeben. Im Laufe der Zeit wird das Marktangebot sich ausweiten. Es werden derzeit aktuelle Kameramodelle durch neue ersetzt werden. Außerdem stößt die These dieser Arbeit an die Grenzen eines theoretischen Vergleiches. Da es derzeit nicht

zu allen verfügbaren Kameramodellen praktische Testberichte gibt, konnten nur von manchen Systemen Informationen einbezogen werden, die über die technischen Kennwerte der Kamera hinausgehen. Ein weiteres Problem stellt die nicht standardisierte Angabe einiger Parameter, die für den Vergleich von 360°-Videoaufnahmesystemen notwendig sind, dar. Als Beispiel wurde die Angabe des abgedeckten Field of View einer Kamera genannt.

Da der Markt der 360°- und Virtual Reality-Videos noch neu ist, wird er sich weiterhin entwickeln. Dabei bleibt abzuwarten, wie man in Zukunft mit Problemen wie sichtbaren Stichtlinien, einer geforderten hohen Auflösung und einer daraus resultierenden hohen Datenmenge umzugehen vermag. Gerade im Bereich der Videoaufnahme durch Lichtfeldkameras wird in Zukunft ein Zuwachs erfolgen, da diese Technik bereits jetzt ein Lösungsansatz der genannten Probleme bietet.

Literaturverzeichnis

Monografien

Beyerer, Jürgen / Puente León, Fernando / Frese, Christian: Automatische Sichtprüfung. Grundlagen, Methoden und Praxis der Bildgewinnung und Bildauswertung. Berlin Heidelberg, 2012.

Böhringer, Joachim / Bühler, Peter / Schlaich, Patrick: Kompendium der Mediengestaltung. für Digital und Printmedien. Berlin Heidelberg, 2006.

Buchholz, Axel / Schult, Gerhard: Fernseh-Journalismus. Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis. Wiesbaden, 2016.

Erhardt, Angelika: Einführung in die digitale Bildverarbeitung. Grundlagen, Systeme und Anwendungen. Wiesbaden, 2008.

Gerhard, Christoph: Tutorium Optik. Ein verständlicher Überblick für Physiker, Ingenieure und Techniker. Berlin-Heidelberg, 2016.

Jaklitsch, Walter: Handbuch der Laufbildfotografie. Wien, 2004.

Kühnapfel, Jörg B.: Nutzwertanalysen im Marketing und Vertrieb. Wiesbaden, 2014.

Maschke, Thomas: Digitaleameratechnik. Technik digitaler Kameras in Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg, 2004.

Müller, Philip: Das 360°-Filmset. Unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Gewerke und technischen Standards kann ein professionelles 360°-Filmset realisiert werden?. Mittweida, 2016.

Schmidt, Ulrich: Professionelle Videotechnik. Grundlagen, Filmtechnik Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D. Berlin Heidelberg, 2013.

Schreer, Oliver: Stereoanalyse und Bildsynthese. Berlin Heidelberg, 2005.

Stotz, Dieter: Computergestützte Audio- und Videotechnik. Multimediatechnik in der Anwendung. Berlin Heidelberg, 2011.

Walter, Thomas: MediaFotografie – analog und digital. Begriffe, Techniken, Web. Berlin Heidelberg, 2005.

Xing, Jing / Miao, Zhenjiang / Chen, Jing: An Algorithm for Seamless Image Stitching and Its Application. Berlin Heidelberg, 2007.

Printzeitschriften

Stiftung Warentest (Hrsg.): Action-Camcorder. In: Stiftung Warentest vom Juli 2016.

Stiftung Warentest (Hrsg.): Systemkameras: Die neuen Modelle mit dem jeweils besten Set-Objektiv. In: Stiftung Warentest vom März 2016.

Weblinks/Onlineartikel

360-grad-kamera.club (Hrsg.): 360° Kamera – Infos und News. <https://360-grad-kamera.club/>, Zugriff: 07.02.17.

360-grad-kamera-club.de (Hrsg.): LG 360 Cam – Test und Fazit. <https://360-grad-kamera.club/lg-360-cam-test/>, Zugriff: 16.02.17.

360-Grad-Kamera-Vergleich.de (Hrsg.): 360 Grad Kamera Vergleich. <http://360-grad-kamera-vergleich.de/360-grad-kamera-vergleich/>, Zugriff: 13.02.17.

360grad-Kamera-Check.de (Hrsg.): Nikon Keymission 360 im Test. http://www.360grad-kamera-check.de/nikon_keymission_360/, Zugriff: 16.02.17.

360Heros Inc. (Hrsg.): The Bullet360 Control Board System for 360 Video Rigs. <http://shop.360rize.com/category-s/1849.htm>, Zugriff: 07.02.17.

360rumors.blogspot.de (Hrsg.): 360 camera with 8k 24fps and 4k 60 fps. <http://360rumors.blogspot.de/2016/04/360-camera-with-8k-24fps-and-4k-60-fps.html>, Zugriff: 09.02.17.

360rumors.blogspot.de (Hrsg.): CES 2017: Detu launches Twin, hints at two new 360 cameras. <http://360rumors.blogspot.de/2017/01/ces-2017-detu-launches-twin-hints-at.html>, Zugriff: 09.02.17.

360rumors.blogspot.de (Hrsg.): CES 2017: Why the Kodak Orbit360 4k could be the best intermediate 360 camera to date. <http://360rumors.blogspot.de/2017/01/ces-2017-why-kodak-orbit360-4k-could-be.html>, Zugriff: 16.02.17.

Amazon.com, Inc. (Hrsg.): ALLie Home - 360-Grad-Überwachungskamera 4K Doppelobjektiv Dual 8 Megapixel Sensoren mit max Auflösung von 4096x2048 Pixel Remote Monitoring Camera Weiss White. <https://www.amazon.de/ALLie-Home-360-Grad-%C3%9Cberwachungskamera-Doppelobjektiv-Monitoring/dp/B01B82OCP2>, Zugriff: 08.02.17.

Amazon.com, Inc. (Hrsg.): Insta360 Camera INSTA360 4K Spherical VR Video Camera 360 Degree Sony 8MP CMOS Video Image Dual Lens. https://www.amazon.com/gp/offer-listing/B01E9LJ592/ref=dp_olp_0?ie=UTF8&condition=all&qid=1486486684&sr=1-2, Zugriff: 08.02.17.

Amkov.com (Hrsg.): Specifications. <http://amkov.com/show-45-157.html>, Zugriff: 01.02.17.

Arashi Vision (Hrsg.): CAMERA. Specification. <http://www.insta360.com/product/insta360-4k/specs>, Zugriff: 08.02.17.

B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): ALLie 8MP Day/Night IR 360° Dual Lens Spherical VR Camera (White). https://www.bhphotovideo.com/c/product/1221499-REG/ic_real_tech_ahw10_allie_8mp_day_night_ir.html, Zugriff: 16.02.17.

- B & H Foto and Electronics Corp. (Hrsg.): GoPro Omni (All Inclusive).
https://www.bhphotovideo.com/c/product/1247865-REG/gopro_mhdx_006_omni_all_inclusive.html, Zugriff: 08.02.17.
- B & H Foto & Electronics Corp. (Hrsg.): Orax 4i Live Spherical VR Camera,
https://www.bhphotovideo.com/c/product/1244320-REG/orax_4i_live_vr_camera.html,
Zugriff: 16.02.17.
- Bubl (Hrsg.): Products. <https://www.bublcam.com/products/bublcam>, Zugriff: 09.02.17.
- Cargocollective.com (Hrsg.): LUNA. <http://cargocollective.com/fon/LUNA>, Zugriff:
16.02.17.
- cinema5D (Hrsg.): Indiecama nakedEYE is First Compact VR RAW Camera – 12bit 4k 60p. <https://www.cinema5d.com/indiecama-nakedeye-vr-raw-camera-shoots-12bit-4k-60p/>, Zugriff: 08.02.17.
- Cool Hunting (Hrsg.): Nikon KeyMission 360. <http://www.coolhunting.com/tech/nikon-keymission-360>, Zugriff: 15.02.17.
- c't Digitale Fotografie (Hrsg.): Nokia startet Verkauf der Virtual-Reality-Kamera Ozo. <https://www.heise.de/foto/meldung/Nokia-startet-Verkauf-der-Virtual-Reality-Kamera-Ozo-3029093.html?hg=1&hgi=4&hgf=false>, Zugriff: 17.02.17.
- Detu.com (Hrsg.): Twin. <http://cam.detu.com/en/twin/specs>, Zugriff: 09.02.17.
- Detu.com (Hrsg.): F4. <http://cam.detu.com/en/f4>, Zugriff: 09.02.17.
- Digitaleyes.de (Hrsg.): Testbericht: Nikon KeyMission 360 Panorama-Actioncam, http://www.digitaleyes.de/Tests/Testbericht_Nikon_KeyMission_360_Panorama-Actioncam/10120, Zugriff: 16.02.17.
- Digitaleyes.de (Hrsg.): Testbericht: Samsung Gear 360 VR-Kamera. https://www.digitaleyes.de/Tests/Testbericht_Samsung_Gear_360_VR-Kamera/10321,
Zugriff: 16.02.17.
- Digital photo (Hrsg.): Rundumblick in 4K-Qualität: Sphericam 2. <http://www.digitalphoto.de/news/rundumblick-4k-qualitaet-sphericam-2-100257335.html>, Zugriff: 17.02.17.
- dkamera.de (Hrsg.): Die Elephone Elecam 360 im Test (Teil 2). <http://www.dkamera.de/news/die-elephone-elecam-360-im-test-teil-2/>, Zugriff:
16.02.17.
- Eastman Kodak Company (Hrsg.): ORBIT360 4K. <http://www.kodak.com/Consumer/Products/Digital-Cameras/Action-Camera/Orbit360/default.htm>, Zugriff: 16.02.17.
- Easypix GmbH (Hrsg.): GoXtreme Full Dome 360°. Turn your world around. <http://www.goxtreme-action-cams.com/de/goxtreme-full-dome-360-2/>, Zugriff: 29.01.17.
- Elephone Mobile Technology Inc. (Hrsg.): ELECAM 360 Video Camera 360 Degrees Panorama Camera Action Camera. <http://www.elephonestore.com/elecam-360-video-camera-panorama-camera.html>, Zugriff: 08.02.17.

Facebook (Hrsg.): Introducing Facebook Surround 360: An open, high-quality 3D-360 video capture system.

<https://code.facebook.com/posts/1755691291326688/introducing-facebook-surround-360-an-open-high-quality-3d-360-video-capture-system/>, Zugriff: 09.02.17.

facebook360 (Hrsg.): facebook SURROUND 360.

<https://facebook360.fb.com/facebook-surround-360/>, Zugriff: 09.02.17.

fotointern.ch (Hrsg.): Insta360 4K: Das Standalone-Modell mit 4K Video.

<http://www.fotointern.ch/archiv/2016/08/24/insta-360-nano-aufsteckadapter-macht-aus-dem-iphone-eine-360-grad-kamera/>, Zugriff: 16.02.17.

Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.): Lichtfeld - Aufnahme und Verarbeitung.

<https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/bsy/tech/lichtfeld.html>, Zugriff: 19.02.17.

GitHub, Inc. (Hrsg.): Surround 360. <https://github.com/facebook/Surround360>, Zugriff: 17.02.17.

Golem.de (Hrsg.): FACEBOOK SURROUND 360: Videokamera für Rundum-3D-Videos ist Open Source. <https://www.golem.de/news/facebook-surround-360-videokamera-fuer-rundum-3d-videos-ist-open-source-1604-120291.html>, Zugriff: 17.02.17.

Golem.de (Hrsg.): LYTRO IMMERGE: Lytro stellt 360-Grad-Lichtfeldkamera vor.

<https://www.golem.de/news/lytro-immerge-lytro-stellt-360-grad-lichtfeldkamera-vor-1511-117317.html>, Zugriff: 19.02.17.

GoPro, Inc. (Hrsg.): Technische Daten. <http://de.shop.gopro.com/EMEA/vr-cameras/omni---all-inclusive/MHDHX-006-EU.html>, Zugriff: 09.02.17.

GoPro, Inc. (Hrsg.): Technische Daten. <http://de.shop.gopro.com/EMEA/vr-cameras/omni---all-inclusive/MHDHX-006-EU.html>, Zugriff: 09.02.17.

Human Eyes (Hrsg.): VUZE Camera. <http://vuze.camera/>, Zugriff: 09.02.17.

IC Real Tech, Inc. (Hrsg.): Shop ALLie. ALLie GO. <https://allie.camera/allie-360-video-camera-Go>, Zugriff: 16.02.17.

IC Real Tech, Inc. (Hrsg.): Shop ALLie. Let's take the next step.

<https://allie.camera/allie-360-video-camera-black-white>, Zugriff: 07.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Easypix FullDome 360°.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/5112214_-full-dome-360-easypix.html, Zugriff: 08.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Elephone EleCam 360.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/5244881_-elecaml-360-elephone.html, Zugriff: 07.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Nikon Keymission 360.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/4927406_-keymission-360-nikon.html, Zugriff: 07.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Ricoh Theta S.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/4842260_-theta-s-ricoh.html, Zugriff: 07.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Ricoh Theta SC.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/5145888_-theta-sc-ricoh.html,
Zugriff: 07.02.17.

Idealo.de (Hrsg.): Samsung Gear 360.

http://www.idealo.de/preisvergleich/OffersOfProduct/5026406_-gear-360-samsung.html, Zugriff: 07.02.17.

Imaging Resource (Hrsg.): Ricoh Theta SC Review. <http://www.imaging-resource.com/PRODS/ricoh-theta-sc/ricoh-theta-scA.HTM#>, Zugriff: 16.02.17.

INDIECAM GmbH (Hrsg.): nakedEYE. <http://www.indiecam.com/store/nakedeye/>, Zugriff: 08.02.17.

INDIGOGO, Inc. (Hrsg.): Luna - A 360 Camera for Everyone.

https://www.indiegogo.com/projects/luna-a-360-camera-for-everyone-gadgets-technology#/, Zugriff: 07.02.17.

JK Imaging Ltd. (Hrsg.): ORBIT360 4K. <https://store.mypixpro.com/vr-camera/orbit360-4k>, Zugriff: 07.02.17.

Kickstarter (Hrsg.): Sphericam 2, the 4K 360° Video Camera for VR.

<https://www.kickstarter.com/projects/1996234044/sphericam-2-the-4k-360o-video-camera-for-virtual-r?lang=de>, Zugriff: 09.02.17.

Kodak Pixpro (Hrsg.): ORBIT360 4K. <https://store.mypixpro.com/vr-camera/orbit360-4k>, Zugriff: 16.02.17.

LG Electronics (Hrsg.): LG 360 CAM. LGR105. <http://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105.AVRZTS-360-cam>, Zugriff: 12.01.17.

LUNA (Hrsg.): o.T. <http://luna.camera/#6>, Zugriff: 08.02.17.

Lytro (Hrsg.): A Seminal Day in VR: Announcing Moon. <http://blog.lytro.com/vr-announcing-moon/>, Zugriff: 18.02.17.

Lytro (Hrsg.): LYTRO IMMERGE. <https://www.lytro.com/immerge#immergeDetails>,
Zugriff: 18.02.17.

Lytro (Hrsg.): What is a Light Field Volume. <http://blog.lytro.com/what-is-a-light-field-volume/>, Zugriff: 19.02.17.

netzwelt GmbH (Hrsg.): 360-Grad-Kameras: Diese Geräte nehmen eure Panorama-Videos auf. Rundum-Clips als neuer Trend. https://www.netzwelt.de/news/157079_10-360-grad-kameras-geraete-nehmen-panorama-videos.html#facebook-surround-360,
Zugriff: 09.02.17.

Nikon GmbH (Hrsg.): Technische Daten der Keymission 360.

http://www.nikon.de/de_DE/products/action_cameras/keymission_360_missions.page#specifications, Zugriff: 01.02.17.

Nokia (Hrsg.): Specifications. <https://ozo.nokia.com/eu/nokia-ozo-specs/>, Zugriff: 09.02.17.

- Nokia (Hrsg.): OZO PROFESSIONAL VIRTUAL REALITY CAMERA PC-01. <https://ozo.nokia.com/eu/ozo-professional-vr-camera/>, Zugriff: 09.02.17.
- Orah (Hrsg.): Order Your Orah 4i. <https://www.orah.co/order/>, Zugriff: 01.02.17.
- Orah (Hrsg.): Technical Specifications. <https://www.orah.co/tech-specs/>, Zugriff: 01.02.17.
- panoclub.de (Hrsg.): o.T. http://www.panoclub.de/hugin_tut/spezial.html, Zugriff: 03.02.17.
- Photo Industry Reporter, Inc. (Hrsg.): Kodak PixPro 2017 Digital Camera & Devices. <http://www.direporter.com/products/360o/kodak-pixpro-2017-digital-camera-devices>, Zugriff: 15.02.17.
- Price China (Hrsg.): AMKOV Amk200s. <http://www.chinaprice.de/camera/6590/amkov-amk200s>, Zugriff: 08.02.17.
- Radiant Images (Hrsg.): JAUNT ONE. <http://radiantimages.com/virtual-reality/vr360/1045-jaunt-one>, Zugriff: 09.02.17.
- Ricoh Company, Ltd. (Hrsg.): Produkt. <https://theta360.com/de/about/theta/>, Zugriff: 16.02.17.
- Ricoh Company, Ltd. (Hrsg.): Ricoh Theta S. <https://theta360.com/de/about/theta/s.html>, Zugriff: 04.02.17.
- Ricoh Company, Ltd. (Hrsg.): Ricoh Theta SC. <https://theta360.com/de/about/theta/sc.html>, Zugriff: 04.02.17.
- Ricoh Company, Ltd (Hrsg.): THETA. Birthday Party in Japan. <https://theta360.com/spheres/samples/532f020e-4569-11e5-a824-064087ff3472-1>, Zugriff: 03.02.17.
- Samsung Electronics Co., Ltd. (Hrsg.): Gear 360. <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-360/>, Zugriff: 08.02.17.
- Solve for Interesting (Hrsg.): 24H IN VR 0:00-0:23: ELECTRIC MONK. <http://solveforinteresting.com/24h-in-vr-000-023-electric-monk/>, Zugriff: 18.02.17.
- Sphericam Inc. (Hrsg.): Products. <http://www.sphericam.com/sphericam2/>, Zugriff: 09.02.17.
- Statista GmbH (Hrsg.): Prognose zur Anzahl der aktiven Virtual-Reality-Nutzer weltweit von 2014 bis 2018 (in Millionen). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/426237/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-aktiven-virtual-reality-nutzer-weltweit/>, Zugriff: 24.01.17.
- State of VR (Hrsg.): Chapter 3 / The Stitch. http://stateofvr.com/?page_id=17168, Zugriff: 10.02.17.
- t3n (Hrsg.): Lytro Immerge: Die Virtual-Reality-Kamera für das Kino von morgen. <http://t3n.de/news/lytro-immerge-654223/>, Zugriff: 18.02.17.

- Tech Prolonged (Hrsg.): "Theta S" Camera shoots & shares 360-degree photos on Google Maps, face-book, twitter etc.. <http://techprolonged.com/2015/09/ricoh-theta-s-spherical-portable-consumer-camera/>, Zugriff: 16.02.17.
- The Foundry (Hrsg.): CARA VR for NUKE. Your 360° virtual reality toolkit. <https://www.thefoundry.co.uk/products/cara-vr/>, Zugriff: 06.02.17.
- The Fulldome Blog (Hrsg.): Detu: F4. <https://thefulldomeblog.com/2015/11/17/collection-of-360-video-rigs/>, Zugriff: 16.02.17.
- ThreeSixty (Hrsg.): Insta360 Pro can shoot 8K Video, 3D, Livestream – Best 360 camera yet?. <http://www.threesixtycameras.com/insta360-pro-vr-8k-360-camera/>, Zugriff am 24.01.17.
- Urban:trends GmbH (Hrsg.): Welche Kameraeinstellungen für mein 360 Grad Video?. <https://www.camforpro.com/blog/welche-kameraeinstellungen-fuer-mein-360-grad-video/>, Zugriff: 30.01.17.
- Videofilmen.de (Hrsg.): 360° Live Stream Dome. Actioncam für die live-Übertragung von 36°-Videos. <https://www.videofilmen.de/news/news-detail/15180-360-live-stream-dome/>, Zugriff: 08.02.17.
- Videofilmen.de (Hrsg.): 360° Videos in 4k. Nikon steigt in Action-Kamera-Markt ein. <https://www.videofilmen.de/news/news-detail/12687-360-videos-in-4k/>, Zugriff: 08.02.17.
- Videofilmen.de (Hrsg.): Gear 360 ActionDirector. Cyberlink entwickelt 360 Grad Videobearbeitung. <https://www.videofilmen.de/news/news-detail/13096-gear-360-actiondirector/>, Zugriff: 08.02.17.
- Videofilmen.de (Hrsg.): Nikon KeyMission. Nikon kündigt Action-Kamera-Serie mit drei Modellen an. <https://www.videofilmen.de/news/news-detail/15437-nikon-keymission/>, Zugriff: 08.02.17.
- Videostitch (Hrsg.): VideoStitch Studio. <http://www.video-stitch.com/studio/>, Zugriff: 06.02.17.
- Vox Media Inc. (Hrsg.): Facebook is giving away the blueprints to its 360-degree video camera. Now please give Facebook more video. <http://www.theverge.com/2016/7/26/12260502/facebook-surround-360-degree-video-camera-open-source>, Zugriff: 17.02.17.
- VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): ONE J1-24G von Jaunt. <https://vrodo.de/vr-kamera-neo-von-jaunt/>, Zugriff: 09.02.17.
- VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): Kodak Pixpro 4KVR360. <https://vrodo.de/kodak-pixpro-4kvr360/>, Zugriff: 09.12.17.
- VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): Ricoh Theta S. <https://vrodo.de/ricoh-theta-s/>, Zugriff: 08.12.17.
- VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): Virtual Reality: 360°-Kamera Vuze filmt in 3D und 4K, erscheint am 7. März. <https://vrodo.de/virtual-reality-360-kamera-vuze-filmt-in-3d-und-4k-erscheint-am-7-maerz/>, Zugriff: 09.02.17.

VRODO – Das Magazin für Virtuelle Realität (Hrsg.): VR-Kameras im Vergleich. Lichtfelder. <https://vrodo.de/vr-kameras-im-vergleich/#lichtfelder>, Zugriff: 19.12.17.

WEKA Fachmedien GmbH (Hrsg.): Charakterisierung von Bildsensoren und Kameras. Der Standard EMVA 1288. <http://www.elektroniknet.de/elektronik/automation/der-standard-emva-1288-84380.html>, Zugriff: 03.02.17.

Bewegte Bilder

Youtube LLC (Hrsg.): Lektion: 360-Grad-Videos drehen. <https://creatoracademy.youtube.com/page/lesson/360-production?ytref=progress&cid=360video&hl=de>, Zugriff: 06.02.17.

Youtube LLC. (Hrsg.): Introducing Jaunt ONE - Cinematic VR Camera. <https://www.youtube.com/watch?v=6LO1J-modKg>, Zugriff: 17.02.17.

Youtube LLC. (Hrsg.): Join us as we tour an amazing house in the UK with the Vuze camera - 360 video. <https://www.youtube.com/watch?v=gbJhRq3lq7E>, Zugriff: 17.02.17.

Youtube LLC. (Hrsg.): ORBIT360 4K - TWICE Pick Award Interview at CES 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=ykVxolOKDeE>, Zugriff: 15.02.17.

Anhang

Anhang 1 - Beispielbild equirektangulare Darstellung (Quelle: panoclub.de (Hrsg.): o.T. http://www.panoclub.de/hugin_tut/spezial.html , Zugriff: 03.02.17.).....	XXIII
Anhang 2 - Vergleich Action-Camcorder (Quelle: Stiftung Warentest (Hrsg.): Action- Camcorder. In: Stiftung Warentest vom Juli 2016, S.38 f.).....	XXIV
Anhang 3 - Systemkameravergleich (Quelle: Stiftung Warentest (Hrsg.): Systemkameras: Die neuen Modelle mit dem jeweils besten Set-Objektiv. In: Stiftung Warentest vom März 2016, S. 38f.).....	XXV
Anhang 4 - Matrix zur Punktevergabe weitwinkelbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXVI
Anhang 5 - Matrix zur Punktevergabe mosaikbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXVII
Anhang 6 - Datensammlung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXVIII
Anhang 7 - Datensammlung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXIX
Anhang 8 - Datensammlung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXX
Anhang 9 - Datensammlung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)	XXXI



Anhang 1 - **Beispielbild equirektangulare Darstellung** (Quelle: panoclub.de (Hrsg.): o.T. http://www.panoclub.de/hugin_tut/spezial.html, Zugriff: 03.02.17.)

Action-Camcorder

Action-Cams richtig befestigen

Nicht seitlich am Helm anbringen

Je turbulenter die Action, desto größer das Risiko. Bei wechsellastigen Manövern soll die Action-Cam die Unfallgefahr nicht noch erhöhen. Vermindern lässt sich das, wenn die Camcorder sicher an einem Helm befestigt wird. Ein guter Schutz ist ein Stiefelarm montieren. Vor allem Fahrrad- und Skifahrer montieren die Camcorder bevorzugt am Helm. Wobei bei einem Sturz passieren kann, erklärt Wolfram Helm, Unfallforscher am Institut für Rechtsmedizin der Universität

München: „Die Kamera kann die Schutzwirkung des Helms beeinträchtigen, im Extremfall kann sie ihn spalten.“ – Er rät deshalb, die Kamera seitlich am Kopf anzubringen, denn dort sei unser Schilde bei empfindlich. „Die Action-Cam frontal am Helm anbringen, liegt schon politisch. Besser ist es, sie sich am Arm.“ so Helm. Schwere Unfälle bei Action-Cam-Bestrom seien

in der Praxis selten. „Allerdings erhöht sich die Unfallgefahr gerade weil gefilmt wird, denn für spektakuläre Videosequenzen manövriert der Fahrer noch riskanter als sonst. Meine Empfehlung ist eine kleine, leichte Kamera mit Solarbestromung.“ sagt der Unfallforscher. Von dem Helm ist es aber nicht möglich, die Action-Cam zu entfernen. Sie hindert nicht am Anbringen, sondern sie kann die Kamera vom Helm fällt. Praktisch: Die Klebefestigung eignet sich auch für Action-Cams von GoPro.

dafür sorgen, dass sich die Kamera oder deren Halterung beim Aufprall löst, denn für spektakuläre Videosequenzen manövriert der Fahrer noch riskanter als sonst. Meine Empfehlung ist eine kleine, leichte Kamera mit Solarbestromung.“ sagt der Unfallforscher. Von dem Helm ist es aber nicht möglich, die Action-Cam zu entfernen. Sie hindert nicht am Anbringen, sondern sie kann die Kamera vom Helm fällt. Praktisch: Die Klebefestigung eignet sich auch für Action-Cams von GoPro.



Besser: Soll der Camcorder unbedingt auf dem Kopf sitzen, ist oben mittig am Helm der beste Platz.

test Action-Camcorder

Gewichtung	1) Sony HDR-X1000V	2) GoPro Hero 3	3) GoPro Hero 3	4) GoPro Hero 3	5) GoPro Hero 3	6) GoPro Hero 3	7) GoPro Hero 3	8) GoPro Hero 3	9) GoPro Hero 3	10) GoPro Hero 3	11) GoPro Hero 3	12) GoPro Hero 3	13) GoPro Hero 3	14) GoPro Hero 3	15) GoPro Hero 3	
Embleme Zubehör	Schutzgehäuse, Halterung, Fernbedienung, Akkupack, Halterung, Gürtel	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	Ebene und ge- wisse, Halterung, Adapter und Ver- längerungen	
Preispaare ca. (Euro)	429 ⁹⁾ bis 445 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	385 ⁹⁾ bis 400 ⁹⁾	
VIDEO	50%, sehr gut (1,5)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)
Sehrer Full HD / Selbst max. Auflösung	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+
Bei wenig Licht / Verweilgeschwindigkeit	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+	+++/+
Objektiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOOD	5%, gut (2,5)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)	gut (2,0)
Handhabung	30%, befriedigend (3,2)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)	befriedigend (3,0)
Geschwindigkeit / Tragfähigkeit / Gültigkeit	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O
Geschwindigkeit / Monitor	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O	O/O
SCHALLSTÄRKE	18%, befriedigend (2,9)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)	sehr gut (1,2)
HÄRTETEST	0%	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)	gut (1,0)
AUSSTATTUNG / TECHNISCHE MERKMALE	2,4 x 5,1 x 8,9	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3	2,4 x 4,7 x 8,3
Breite x Höhe x Länge (mm)	114	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
Gewicht (Kameras (g))	114	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
Speicherformat	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC	microSDHC
Speicherformat / Bilder pro Sekunde	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p
Speicherformat / Videos pro Sekunde	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p	1920 x 1080 / 30p
Mittlere Datenrate, gemessen (Mbit/s)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Brennweite, normal ¹⁾	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Monitor / Touchscreen	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
Unterwassergehäuse / Wassertiefe (m)	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
Bildgebung GoPro-kompatibel	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
WLAN / Fernbedienung / GPS	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
AKKU	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
Akkuwechselbar	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
Akkuzeit (gemessen) (min)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Bewertungsschlüssel der Prüfkategorie:	Bei gleichen Qualitätsmerkmalen: Befriedigend (3,0) bis Ausgezeichnet (1,0)															
++ = Sehr gut (1,5), + = Gut (2,0), O = Befriedigend (3,0), - = Mangelhaft (4,5)																
1) = Weitwinkellinse, 2) = Weitwinkel, 3) = Weitwinkel, 4) = Weitwinkel																
5) = Weitwinkel, 6) = Weitwinkel, 7) = Weitwinkel, 8) = Weitwinkel																
9) = Weitwinkel, 10) = Weitwinkel, 11) = Weitwinkel, 12) = Weitwinkel																
13) = Weitwinkel, 14) = Weitwinkel, 15) = Weitwinkel, 16) = Weitwinkel																
17) = Weitwinkel, 18) = Weitwinkel, 19) = Weitwinkel, 20) = Weitwinkel																
21) = Weitwinkel, 22) = Weitwinkel, 23) = Weitwinkel, 24) = Weitwinkel																
25) = Weitwinkel, 26) = Weitwinkel, 27) = Weitwinkel, 28) = Weitwinkel																
29) = Weitwinkel, 30) = Weitwinkel, 31) = Weitwinkel, 32) = Weitwinkel																
33) = Weitwinkel, 34) = Weitwinkel, 35) = Weitwinkel, 36) = Weitwinkel																
37) = Weitwinkel, 38) = Weitwinkel, 39) = Weitwinkel, 40) = Weitwinkel																
41) = Weitwinkel, 42) = Weitwinkel, 43) = Weitwinkel, 44) = Weitwinkel																
45) = Weitwinkel, 46) = Weitwinkel, 47) = Weitwinkel, 48) = Weitwinkel																
49) = Weitwinkel, 50) = Weitwinkel, 51) = Weitwinkel, 52) = Weitwinkel																
53) = Weitwinkel, 54) = Weitwinkel, 55) = Weitwinkel, 56) = Weitwinkel																
57) = Weitwinkel, 58) = Weitwinkel, 59) = Weitwinkel, 60) = Weitwinkel																
61) = Weitwinkel, 62) = Weitwinkel, 63) = Weitwinkel, 64) = Weitwinkel																
65) = Weitwinkel, 66) = Weitwinkel, 67) = Weitwinkel, 68) = Weitwinkel																
69) = Weitwinkel, 70) = Weitwinkel, 71) = Weitwinkel, 72) = Weitwinkel																
73) = Weitwinkel, 74) = Weitwinkel, 75) = Weitwinkel, 76) = Weitwinkel																
77) = Weitwinkel, 78) = Weitwinkel, 79) = Weitwinkel, 80) = Weitwinkel																
81) = Weitwinkel, 82) = Weitwinkel, 83) = Weitwinkel, 84) = Weitwinkel																
85) = Weitwinkel, 86) = Weitwinkel, 87) = Weitwinkel, 88) = Weitwinkel																
89) = Weitwinkel, 90) = Weitwinkel, 91) = Weitwinkel, 92) = Weitwinkel																
93) = Weitwinkel, 94) = Weitwinkel, 95) = Weitwinkel, 96) = Weitwinkel																
97) = Weitwinkel, 98) = Weitwinkel, 99) = Weitwinkel, 100) = Weitwinkel																

Anhang 2 - Vergleich Action-Camcorder (Quelle: Stiftung Warentest (Hrsg.): Action-Camcorder. In: Stiftung Warentest vom Juli 2016, S.38 f.)

Kriterium	1 P/min	1 P	2 P	3 P	4 P	5 P	6 P	7 P	8 P	9 P	10 P	10 P/max
Preis mittel*	524,00	484,15	444,30	404,45	364,60	324,75	284,90	245,05	205,20	165,35	125,50	125,50
Größe Sensoren (")	1/4	1/4					1/3				1/2.3	1/2.3
Auflösung Sensor (MP)*	4,0	5,7	7,4	9,1	10,8	12,5	14,2	15,9	17,6	19,3	21,0	21,0
max Auflösung Video (MP)*	1.843	2.498	3.152	3.807	4.461	5.116	5.771	6.425	7.080	7.734	8.389	8.389
max. Bildwiederholrate (fps)*	20	42	64	86	108	130	152	174	196	218	240	240
Gewicht (g)*	479,10	437,89	396,68	355,47	314,26	273,05	231,84	190,63	149,42	108,21	67,00	67,00
Größe (cm)*	15,80	14,82	13,84	12,86	11,88	10,90	9,92	8,94	7,96	6,98	6,00	6,00
Vorschaumonitor	nicht mögl.	nicht mögl.				möglich					vorhanden	vorhanden
Stitchingsoftware	nicht vorhanden	nicht vorhanden									mit Herstellerapp	mit Herstellerapp
max. Speicherkapazität (GB)	8	32	57	81	105	130	154	178	202	227	251	251
Aufzeichnungsdauer (min)												
Akkulaufzeit (min)	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	120
Mindestabstand (cm)												

* Obergrenze des Wertes angegeben

Anhang 4 - Matrix zur Punktevergabe weitwinkelbasierter 360°-Aufnahmesysteme (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Kriterium	1 P/min	1 P	2 P	3 P	4 P	5 P	6 P	7 P	8 P	9 P	10 P	10 P/max
Preis mittel (€)	40000,0	36071,6	32143,2	28214,8	24286,4	20358,0	16429,6	12501,2	8572,8	4644,4	716,0	716,0
Größe Sensoren (")												
Auflösung Sensor (MP)	4,1	4,89	5,68	6,47	7,26	8,05	8,84	9,63	10,42	11,21	12,00	12,00
max Auflösung Video (MP)*	1.229	1.936	2.642	3.349	4.055	4.762	5.468	6.175	6.881	7.588	8.294	8.294
max. Bildwiederholrate (fps)	30	30	30		60			100			120	120
Gewicht (g)*	4.200	3.805	3.410	3.015	2.620	2.225	1.830	1.435	1.040	645	250	250
Größe (cm)*	26,30	24,44	22,58	20,72	18,86	17,00	15,14	13,28	11,42	9,56	7,70	7,70
Vorschaumonitor	nicht mögl.	nicht mögl.				möglich					vorhanden	vorhanden
Stitchingsoftware	nicht vorhanden	nicht vorhanden									vorhanden	vorhanden
max. Speicherkapazität (GB)*	128	192	256	320	384	448	512	576	640	704	768	768
Aufzeichnungsdauer (min)												
Akkulaufzeit (min)*	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	180
Mindestabstand (cm)												
Anzahl der Kameraoptiken	4					6					8	8
stereoskopisch	nein	nein									ja	ja

* Obergrenze des Wertes angegeben

Anhang

Hersteller	Modellname	Preis mittel (€)	Preis min. (€)	Preis max. (€)	Anzahl Optiken	FOV pro Optik (°)	Anzahl Sensoren	Art Sensoren	Größe Sensoren (")	Auflösung Sensor (MP)
Amkov	AMK200S	125,5	92	159	2	220	2	CMOS	-	4
Elephone	Elecam 360	140	140	140	2	220	2	CMOS	1/3	4
EasyPix GoXtreme	Full Dome 360	199	150	248	2	220	2	CMOS	-	4
DETU	VR Camera Twin	214	187	241	2	200	2	"lowlight"	1/3	4
LG	360 Cam R10S	225	171	279	2	-	2	-	-	13
LUNA	LUNA	268	268	268	2	190	2	-	-	5
Ricoh	Theta SC	306,5	261	352	2	-	2	CMOS	1/2,3	12
Samsung	Gear 360	318	220	416	2	-	2	CMOS	-	15
Ricoh	Theta S	395	329	461	2	-	2	CMOS	1/2,3	12
Kodak	Pixpro ORBIT360 4K	448	448	448	2	155 und 235	2	CMOS	-	20
Nikon	Keymission 360	499	499	499	2	-	2	CMOS	1/2,3	21
ALLie	ALLie cam	501	447	555	2	200	2	CMOS	1/2,6	10,5
Insta360	Insta 360 4K	524	502	546	2	230	2	CMOS	1/4	8

Indiecam	nakedEYE	9500	9500	9500	2	-	2	-	-	-
----------	----------	------	------	------	---	---	---	---	---	---

Video -Auflösung max.	Video -Auflösung max. (P)	Video -Auflösung max. (MP)	ISO	Bildwiederholrate max. (fps)	Brennweite (mm)	Lichtstärke	Dynamik -umfang (dB)	Aufzeichnungs -codec	erzeugte Datenrate (mbit/s)	Gewicht (g)
1920 x 960	1.843.200	1.843	-	30	1,1	2,0	-	H.264	-	104
1920 x 1080	2.073.600	2.074	-	30	1,1	2,0	-	H.264	-	106
1920 x 960	1.843.200	1.843	-	30	1,1	-	-	-	-	-
2880 x 1440	4.147.200	4.147	-	30	-	2,2	-	H.264	-	67
2560 x 1280	3.276.800	3.277	-	30	-	-	-	H.264	-	97
1920 x 1080	2.073.600	2.074	-	30	0,99	1,8	-	H.264	-	170
1920 x 1080	2.073.600	2.074	100-1600	30	-	2,0	-	H.264	16	102
2560 x 1440	3.686.400	3.686	-	30	-	2,0	-	H.264	-	145
1920 x 1080	2.073.600	2.074	100-1600	30	-	2,0	-	H.264	16	125
3840 x 1920	7.372.800	7.373	-	120	-	2,4	-	H.264	-	-
3840 x 2160	8.294.400	8.294	64-1600	240	1,6	2,0	-	H.264	-	198
2448 x 2448	5.992.704	5.993	-	20	-	2,8	-	H.264	3-8	479,1
4096 x 2048	8.388.608	8.389	-	30	-	1,2	-	-	-	-

2448 x 2448	5.992.704	5.993	-	60	-	-	-	RAW	6000	380
-------------	-----------	-------	---	----	---	---	---	-----	------	-----

Anhang 6 - Datensammlung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Anhang

Größe (cm)	Maße max. (cm)	Vorschaumonitor	Stichingssoftware	Speicherkapazität max. (GB)	Aufzeichnungs-dauer (min)	Akkulaufzeit (min)	Mindest-abstand (cm)
6 x 4,9 x 3,3	6	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	32	-	60	-
6 x 5 x 3,5	6	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	32	-	60	-
6 x 4,5 x 4,7	6	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	32	-	90	-
12,3 x 4,1 x 2,3	12,3	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	64	-	60	-
4 x 9,7 x 2,3	9,7	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	2004	-	70	-
6,5 x 5,5	6,5	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	32	-	40	-
4,5 x 13 x 2,3	13	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	8	63	-	10
6,7 x 5,6 x 6	6,7	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	251	-	60	-
4,4 x 13 x 2,3	13	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	8	65	-	10
5,5 x 5,5 x 6,7	6,7	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	128	-	-	-
6,1 x 6,6 x 6,1	6,6	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	-	-	70	30
7,6 x 7,6 x 8,9	8,9	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	128	-	120	-
7,5 x 15,8 x 4,8	15,8	über mobiles Gerät möglich	Herstellerapp	-	-	60	-

9,3 x 11,9 x 8	11	ist geplant	nicht vorhanden	-	-	-	-
----------------	----	-------------	-----------------	---	---	---	---

Anmerkung
-
als bedienfreundlich bewertet
-
-
einfache Handhabung
derzeit nur preorder
-
-
livestreaming mögl.
optionaler BT-controler
-
with go, livestream mögl.
-

prof. ! mit v-Mount batterien,
 gesamtes system: recorder, lenses,
 camera, 2xssd,kabel,
 alle Settings manuell (shutter, gain, nd-filter)

Anhang 7 - **Datensammlung weitwinkelbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2** (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Hersteller	Modellname	Anzahl Optik	Preis mittel (€)	Preis min. (€)	Preis max. (€)	FOV pro Optik (°)	Anzahl Sensoren	Art Sensoren	Größe Sensoren (")	Auflösung Sensor (MP)
Bubl	Bubicam	4	716	716	716	190	4	-	-	5
DETU	VR Camera F4	4	1.344	1.344	1.344	190	4	"sony"	-	12
Orah	Orah 4i	4	3.220	3.220	3.220	-	4	sony exmor	-	-
Sphericam	Sphericam beast	4	-	-	-	190	4	-	1	-
GoPro	Omni	6	4.479	4.479	4.479	149,2	6	-	-	12
Insta360	Insta 360 Pro	6	2.686	2.686	2.686	-	-	-	-	-
Sphericam	Sphericam 2	6	1.858	1.522	2.194	-	6	-	1/3	-
Human eyes	VUZE	8	899	899	899	180°ver X 120°hor	8	-	-	-
Nokia	OZO	8	40.000	40.000	40.000	195	8	-	-	4,1
Facebook	Surround 360	17	>>30.000 USD	30.000	-	(14x)77 und (3x)185	17	CMOS	-	1
Jaunt	ONE J1-24G	24	4.500USD/day	-	-	130	24	-	1/1.2	4,1

Video -auflösung max.	Video -auflösung max. (P)	Video -auflösung max. (MP)	ISO	Bildwiederholrate max. (fps)	Brennweite (mm)	Lichtstärke	Dynamik -umfang (dB)	Aufzeichnungs -codec	erzeugte Datenrate (mbit/s)	Gewicht (g)
1920 x 1080	2.073.600	2.074	-	30	1,2	-	-	H.264	-	280
2880 x 2160	6.220.800	6.221	-	60	1,45	2.2	-	H.264	-	670
2048 x 1536	3.145.728	3.146	-	30	-	2.0	-	H.264	5-50	3180
4096 x 2160	-	-	-	60	-	-	-	H.264/RAW	2800	-
3840 x 2160	8.294.400	8.294	100 -800	120	14	2.8	-	H.264	45	1050
-	-	-	-	100	2.4	-	-	H.264/H.265(/RAW)	-	1200
1280 x 960	1.228.800	1.229	-	60	-	-	-	H.264/RAW	1200	420
1920 x 1080	2.073.600	2.074	-	30	-	-	-	H.264	120	250
2048 x 2048	4.194.304	4.194	400	30	2.4	2.4	-	RAW	60	4200
2048 x 2048	4.194.304	4.194	600	60	(3x)2,7 (14x)7	(3x)1.8 (14x) 2.4	-	RAW	54	17000
2048 x 2048	4.194.304	4.194	540	120	-	2.9	-	RAW	60	10660

Anhang 8 - Datensammlung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 1/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Größe (cm)	Maße max. (cm)	Vorschaumonitor	Stitchingsoftware	Speicherkapazität max. (GB)	Aufzeichnungsdauer (min)
8 x 8	8	an mobilem Gerät mögl.	intern - oder extern	64+32	-
7,5 x 14,5 x 7,5	14,5	an mobilem Gerät mögl.	Herstellerapps	128	-
8 x 7 x 6,5	8	an mobilem Gerät/PC mögl.	bereits auf Stitchbox	-	-
15 x 15 x 30	30	an Processorbox für jeden sensor vorhanden	-	-	-
12 x 12 x 12	12	nein	Kolor Software Bundle	768	-
14,3 x 14,3	14,3	an mobilem Gerät/PC mögl.	mitgeliefert	-	-
7,7 x 7,7	7,7	an mobilem Gerät mögl.	für PC/mobil vorhanden	-	-
12 x 12 x 3	12	an mobilem Gerät mögl.	für PC vorhanden	-	-
16,8 x 26,3 x 26,3	26,3	auf PC mögl.	für PC	500	45

46 x 46 x 30,8	46	über website von 4 cams mögl.	stitchingcode frei verfügbar	-	120
25,2 x 32,5 x 32,5	32,5	-	von Hersteller	512 pro cam	1080

Akkulaufzeit (min)	Mindest-abstand (cm)	stereoskopisch	Anmerkung
-	25	nein	-
180	-	nein	-
Feststromanschluss	-	nein	mit Stitchingbox, live
120	-	nein	mit Stitchingbox, live
180	-	nein	-
75	-	ja	release kommt erst, Live mögl.
30	-	nein	live mögl.
-	-	ja	-
-	50	ja	live mögl.

Feststromanschluss	12,7	ja	Facebook stellt alle Dateien für Nachbau als open source zur Verfügung
Feststromanschluss/Akku		ja	only rent

Anhang 9 - Datensammlung mosaikbasierte 360°-Aufnahmesysteme 2/2 (Quelle: Eigene Darstellung, 2017.)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname