

# Augmented Reality an Fenstern: Herausforderungen und Lösungskonzepte

MARCO GRAF<sup>1</sup> & MARTIN CHRISTEN<sup>1</sup>

*Abstract: Augmented Reality an Fenstern bietet vor allem aufgrund des hohen möglichen Dynamikumfangs der Bilder einige Herausforderungen. So sind Marker, die bei gewöhnlicher Beleuchtung funktionieren, bei Gegenlicht-Bildern von Fenstern untauglich. Weiter kam erschwerend dazu, dass der Marker von jeder Person ohne Infrastruktur erstellt werden können sollte. Die Lösung wurde in Form eines leeren DIN-A4-Blattes gefunden. Da zudem beispielsweise Fensterdimensionen mit hoher Genauigkeit in den Bildern gemessen werden können sollten, mussten Kalibrierwerte von Smartphone-Kameras verwendet werden. Entgegen ersten Annahmen, gab es keine tauglichen bestehenden Datenbanken solcher Parameter, sodass diese selbst ermittelt werden mussten. Dies geschah mittels einer Aluminium-Kalibrierplatte mit aufgedruckten, codierten Markern, der Software Agisoft PhotoScan und einer Automatisierung über Python. Mit diesen Grundlagen konnten erfolgreich Position und Orientierung der Bilder in Relation zum Marker berechnet, Messungen mit einer Standardabweichung von knapp 2cm durchgeführt, sowie einfachste Objekte ins Bild augmentiert werden.*

## 1 Einleitung

Die Bestimmung der Dimensionen von Objekten wie Fenstern, Wandaussparungen und Ähnlichem ist für verschiedene Anwendungen im Feld der Innenrichtung ein wichtiger Schritt. Herkömmlich geschieht dies mittels Zollstock oder Laserdistanzmesser, was jedoch die entsprechende Ausrüstung und zudem Zugänglichkeit zum gesamten Objekt erfordert.

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mittels einer Smartphone-Bildaufnahme solche Distanzmessaufgaben durchzuführen. Während in der Photogrammetrie gewöhnlicherweise mit mehreren Bildern gearbeitet wird, war hier die Randbedingung gegeben, nur eine einzige Aufnahme verwenden zu können. Da zum Messen in Einzelbildern eine Grössenreferenz notwendig ist, soll zudem ein für den Nutzer möglichst einfach erhältlicher Marker gefunden werden. Üblicherweise sind dies gedruckte Marker, die spezifische Muster zur Erkennung beinhalten. Diese Anwendung hingegen sollten auch Nutzer verwenden können, die keine solche Infrastruktur besitzen. Weiter soll die Aufnahmeposition und -ausrichtung der Bilder bestimmt werden, sodass anschliessend mittels Augmented Reality (AR) virtuelle Objekte ins Bild gerendert werden können.

---

<sup>1</sup> Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Bau, Architektur und Geomatik, Institut Geomatik, Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz, E-Mail: [martin.christen, marco.graf]@fhnw.ch

## 2 Stand der Technik

Sowohl zur Messung in Einzelbildern, sowie zur Smartphone-Kamerakalibrierung gibt es bestehende Lösungen, die folgend kurz erläutert werden. Zudem wird der Begriff der Augmented Reality umrissen.

### 2.1 Messungen in Einzelbildern

Zur Messung in Einzelbildern gibt es bereits verschiedene Apps und Webapplikationen. Den meisten gemein ist die notwendige manuelle Eingabe einer Referenzlänge. Weiter gibt es Lösungen, die nur in orthogonal aufgenommenen Fotos funktionieren, wie etwa „KLONK Image Measurement“ von IMAGE MEASUREMENT CORPORATION (2013). Somit können mit dieser Lösung keine perspektivischen Verzerrungen berücksichtigt werden. Etwas mehr Möglichkeiten bietet beispielsweise „ImageMeter“ von FARIN (2012). In dieser App kann ein Viereck aufgezo- gen werden, dessen Masse bekannt sind. Als Beispiel werden oft die vier Seiten einer Wand aufgeführt. Dadurch kann die perspektivische Verzerrung berücksichtigt werden, entsprechend fällt die Bedingung der orthogonal zum Objekt liegenden Aufnahme- position weg. Sehr ähnliche Funktionalität weist auch „On 3D-CameraMeasure“ von POTATOTREESOFT (2017) auf. Darin sind aber bereits bekannte Referenzobjekte, wie Kreditkarte, A3- und A4-Papier vordefiniert. Alternativ kann ein benutzerdefiniertes Referenzobjekt angegeben werden. All diesen Apps gemein ist, dass das Referenzobjekt oder der Referenzmassstab manuell angewählt werden müssen. Das Wegfallen dieser manuellen Auswahl ist ein Alleinstellungsmerkmal des Webdienstes «smartpicture3d» von SMARTPICTURE TECHNOLOGIES (o. J.). Im Gegenzug muss für die Nutzung dieses Dienstes aber ein spezieller Marker ausgedruckt und am zu messenden Objekt angebracht werden. Anschliessend müssen gemäss Benutzeranleitung Fotos aus drei unterschiedlichen Standpunkten (im Falle eines Fensters aus der Nähe, von Weitem und eine Schrägansicht) aufgenommen werden. Anschliessend kann man die gewünschten Masse im Bild markieren und die Daten einsenden. Nach einigen Tagen wird das Resultat als PDF per Mail zugestellt. Sämtliche dieser Anwendungen funktionieren ohne Berücksichtigung der Kamera-Kalibrierung. Dies bringt den Nachteil mit sich, dass beispielsweise die radiale Verzeichnung die Messergebnisse verfälscht. Weiter ist eine manuelle Markierung des Markes umständlich, fehleranfällig und teilweise schwierig durchzuführen.

### 2.2 Augmented Reality (AR)

Unter Augmentierter Realität (Augmented Reality, AR) versteht man allgemein die Anreicherung der Realität durch künstliche virtuelle Inhalte. Dabei kommt es zu einer Verschmelzung der Realität mit der Virtualität (JUNG 2013). Es besteht eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen von AR. Bereits in den 60er Jahren wurde AR von SUTHERLAND (1965) realisiert. Etabliert hat sich der Begriff AR jedoch erst mit der Definition von AZUMA (1997). Danach versteht man unter AR eine Überlagerung von Realität und Virtualität, welche interaktiv ist und bei welcher die Darstellung in Echtzeit erfolgt und 3D-Objekte geometrisch registriert sind.

### 2.3 Smartphone-Kamerakalibrierung

Die Kamerakalibrierung ist ein essentieller und wichtiger Teil jedes AR-Systems (ABDULLAH & MARTINEZ 2002). Dabei werden die Parameter der inneren Orientierung, also die Lage des Bildhauptpunktes, die Kamerakonstante und Verzeichnungsparameter geschätzt. Entscheidend ist sie ebenso für die vorliegende Arbeit, da neben dem ins Bild Rendern von virtuellen Objekten ebenso mit hoher Genauigkeit darin gemessen werden können sollte. Die Annahme, es würden bereits frei zugängliche Sammlungen solcher Kalibrierdaten geben, konnte nicht bestätigt werden. Es gibt zwar einige Ansätze solcher Sammlungen wie bei RAY (2016), HTW-INKA (2014) oder LENSFUN (2015). Allerdings erfüllte keine dieser existierenden Sammlungen die Anforderungen dieser Arbeit. Entweder waren kaum Daten vorhanden, der Fokus lag auf Spiegelreflex- und Systemkameras, oder es waren keine aktuellen Geräte erfasst, da die Datenbank bereits zu einem früheren Zeitpunkt kommerzialisiert wurde. Eine mögliche Abhilfe würde das Augmented Reality Toolkit (ARToolkit) bieten. ARToolkit ist eine Open-Source Bibliothek für das Tracking in AR-Anwendungen und bietet eine App an, die die Kalibrierung von Smartphones ermöglicht (ARTOOLKIT 2016a). Dazu wird ein ausgedrucktes Schachbrettmuster als Referenz verwendet. Leider ist die Auflösung auf maximal  $1920 \times 1080$  Pixel beschränkt, weshalb es für die vorliegende Arbeit nicht eingesetzt werden konnte, da Bilder in der vollen Auflösung der Kamera verwendet werden mussten.

### 3 Evaluation eines geeigneten Markers

Soll in Einzelbildern einer monokularen Kamera gemessen werden können, ist zwingend eine Größenreferenz notwendig. Zudem war die Bestimmung der Ausrichtung der Kamera eine weitere Anforderung. Dazu können AR-Marker verwendet werden. Mittlerweile gibt es verschiedenste Systeme von AR-Markern, die mittels Drucker erstellt werden können. Dazu gehören klassische quadratische Marker, die zudem bei einigen Systemen, wie etwa ARTOOLKIT (2016b), individuell gestaltet werden können. Bedingung für die Nutzung solcher Marker ist allerdings der Besitz eines Druckers und die Kenntnis der Bedienung eines solchen. Deshalb musste ein Marker gefunden werden, der auch ohne Infrastruktur durch jede Person nutzbar ist. Da die Marker auf Fenstern angebracht werden, war die Robustheit gegenüber verschiedensten Lichtverhältnissen ein wichtiges Merkmal. So entspricht beispielsweise die Innenraumbelichtung bei Nacht einer Direktbeleuchtung, während bei Tageslicht starkes Gegenlicht auf den Marker fällt.

### 3.1 Geldschein als Marker

Eine Variante eines Markers, die leicht zu beschaffen ist, praktisch jede Person Zugriff darauf hat und die Dimensionen exakt bekannt sind, wäre ein Geldschein. Konkret wurden Versuche mit einer Schweizer 20-Franken-Note als Marker durchgeführt. Dabei zeigte sich allerdings, dass sich das Erscheinungsbild mit ändernden Lichtverhältnissen stark unterschiedlich präsentieren kann. Dabei kommen im Gegenlicht Merkmale



Abb. 1: Geldschein mit Direktbeleuchtung



Abb. 2: Geldschein im Gegenlicht



Abb. 3: Geldschein aus einigen Metern aufgenommen

stark zum Vorschein, die bei Direktbeleuchtung kaum erkennbar sind (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Entsprechend extrahieren Algorithmen wie SIFT, SURF oder ORB in verschiedenen Lichtverhältnissen unterschiedliche Merkmale, was die Verwendung als Marker erschwert. Weiter führt eine grössere Distanz zum Marker dazu, dass kaum mehr Merkmale erkennbar sind (siehe Abb. 3). Daher eignet sich ein Geldschein nicht als Marker. Allgemein wurde erkannt, dass Marker, die auf Merkmalsextraktion beruhen, in stark ändernden Lichtverhältnissen kaum praktikabel sind.

### 3.2 DIN-A4 als Marker

Schlussendlich konnte ein tauglicher Marker in Form eines leeren DIN-A4-Blattes gefunden werden. Obwohl sich dieses mit ändernden Lichtverhältnissen ebenso visuell stark verändert, bleibt es dennoch eine relativ homogene Fläche, die bei ungefähr frontaler Sichtweise zudem die Proportionen eines A4 ( $1:\sqrt{2}$ ) aufweist (siehe Abb. 4).

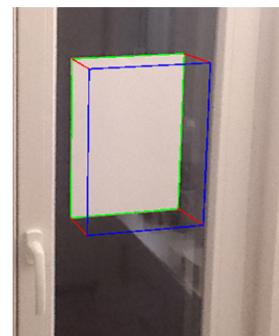
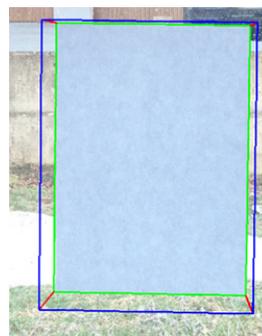
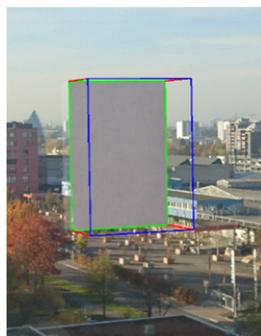
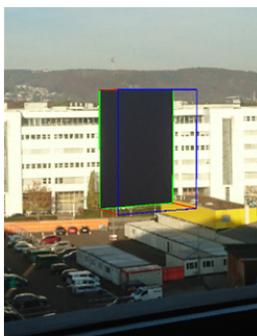


Abb. 4: DIN-A4-Marker in unterschiedlichsten Lichtverhältnissen mit augmentiertem Quader

Diese homogene Fläche erlaubt eine Detektion des Markers über Canny-Kantenfilter (CANNY 1986) und anschliessender Umriß-Erkennung in OpenCV. Dabei werden die vier Eckpunkte

extrahiert, die den Bezug zwischen Bild- und Objektraum herstellen. Konkret wurde im Objektraum ein Koordinatensystem mit Nullpunkt in der unteren linken Ecke des A4-Blattes definiert.

## 4 Kalibrierung der Kameras

Aufgrund der teils starken Verzeichnungen der günstigen, sehr kleinen Smartphone-Kameras ist für Augmented Reality, sowie zur genauen Messung in Bildern, eine Bestimmung der inneren Orientierung der Kamera unabdingbar. Mit nur einer Bildaufnahme und den vier Referenzkoordinaten des A4-Markers ist eine Simultankalibrierung der Kamera, wie sie oft in der Photogrammetrie durchgeführt wird, nicht möglich. Deshalb sind die Parameter der inneren Orientierung wichtig, um gute Resultate zu erhalten. Wie erwähnt, konnte keine der existierenden Datenbanken von Kalibrierungsdaten die Anforderungen erfüllen. Deshalb war eine eigenständige Erstellung einer solchen unumgänglich.

### 4.1 Untersuchung bestehender Verfahren

Ein mögliches Werkzeug dazu bietet AGISOFT LLC (2011) mit der Software „Agisoft Lens“, die einzig dem Zweck der Kamera-Kalibrierung dient. Dazu wird ein auf dem Bildschirm dargestelltes Schachbrettmuster aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen und daraus die innere Orientierung geschätzt.

Allerdings wurde bemerkt, dass die Ergebnisse sehr inkonsistent waren. Beispielsweise variierte die Verzeichnung in jedem Kalibriervorgang, teilweise sogar sehr stark (am Bildrand über 20 Pixel). Dies ist in Abb. 5 ersichtlich. Ein ähnliches Verhalten konnte bei der Kamerakonstante  $f$  beobachtet werden. Die Gründe dafür konnten nicht abschliessend eruiert werden. Eine Veränderung der Kamerakonstante könnte daher herrühren, dass die Kamera aufgrund der relativ kurzen Distanz zum Schachbrettmuster bei jeder Aufnahme neu fokussierte.

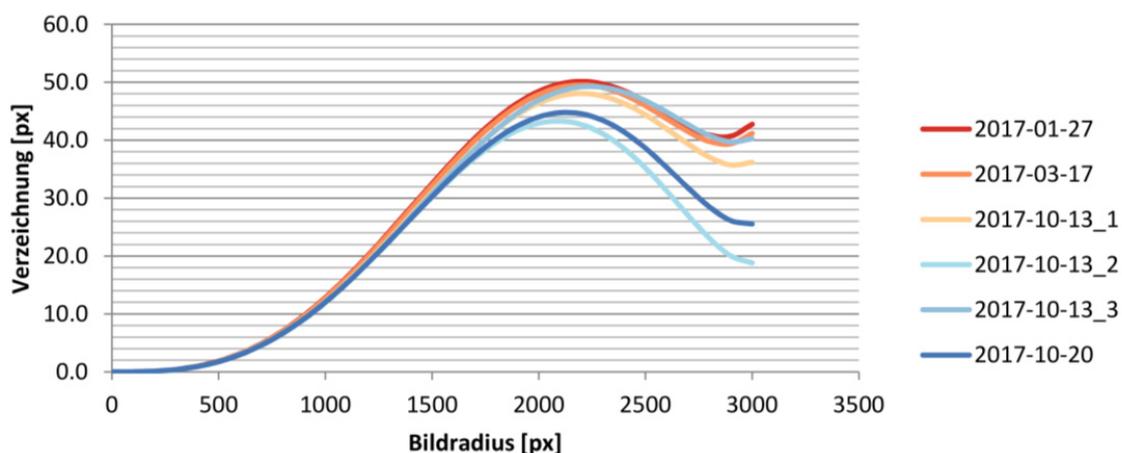


Abb. 5: Ermittelte Verzeichnung einer Xperia Z5 Smartphone-Kamera in verschiedenen Kalibriervorgängen in der Software Agisoft Lens

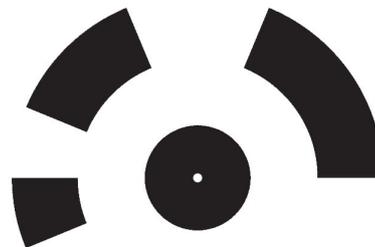
## 4.2 Entwickeltes Verfahren

Aus den vorhergehend genannten Gründen und der Annahme, dass die Aufnahmedistanz der Kalibrierbilder etwa der späteren Einsatzdistanz entsprechen sollte, wurde nach einer alternativen Lösung gesucht. Da Versuche in der kompletten Photogrammetrie-Software von AGISOFT LLC (2016) – Agisoft PhotoScan Professional – konsistentere Ergebnisse lieferten und die Entwicklung einer eignen Kalibriersoftware aufwändig gewesen wäre, wurde versucht, auf dieser bestehenden Software aufzubauen. Grundlage dafür ist eine bedruckte Aluminium-Kalibrierplatte im Format A0 (Abb. 6) mit codierten Markern (Abb. 7). Diese Codierung beinhaltet die Nummer des Markers, womit sie automatisch erkannt und korrekt zugeordnet werden können.

Um die Soll-Koordinaten der Marker zu erhalten, wurden einerseits die Soll-Positionen, der in Druck gegebenen Marker, andererseits Tachymeter-Messungen auf alle vier Marker in den Ecken, verwendet. Eine Transformation zeigte auf, dass die gedruckten Marker einen leichten affinen Verzug aufwiesen. Dieser wurde geschätzt und auf sämtliche Marker-Koordinaten angewandt. Diese bildeten die Soll-Koordinaten für die Kalibrierung. Aufgenommen wurden jeweils acht Bilder mit unterschiedlichen Positionen und Ausrichtungen, wie dies (LUHMANN 2010) empfiehlt. Damit wäre bereits eine Kalibrierung der Kameras möglich gewesen. Allerdings wäre diese mit viel manuellem Aufwand verbunden gewesen (Projekt erstellen, Bilder und Soll-Koordinaten importieren, etc.), sodass dieser Ablauf mittels Python automatisiert wurde. Damit kann mittels eines Sets von acht Bildern automatisch eine Kalibrierung der Kamera durchgeführt werden kann, die in einer Datenbank abgespeichert wird.



Abb. 6 Alu-Kalibrierplatte mit codierten Markern



25

Abb. 7: Detailansicht eines Markers

## 5 Untersuchungen zu Messungen in Bildern

Die Grundlagen aus den vorhergehenden Kapiteln ermöglichen eine Bestimmung der Kameraposition- und Ausrichtung relativ zum Marker. Dazu wird in den EXIF-Informationen des Bildes der Kamertyp ausgelesen, entsprechende Kalibrierungswerte aus der Datenbank gelesen, und

anschliessend über solvePnP von OPENCV (2017) die Kameraposition und -orientierung berechnet. Dies ermöglicht einerseits, virtuelle Objekte ins Bild zu rendern (siehe einfachste Beispiele in Abb. 4), andererseits werden damit Messungen im Bild möglich. Wichtig ist festzuhalten, dass diese Messungen nur auf der Ebene des Markers korrekt sind. Soll beispielsweise die Breite der Wandaussparung auf Höhe Vorderkante Wand gemessen werden, so ist der Tiefenunterschied zwischen dem Marker und der Messebene zu berücksichtigen. Durchgeführte Untersuchungen mit einem Sony Xperia Z5 Smartphone zeigten eine beträchtliche Genauigkeit auf. Mittels 12 Bildern von verschiedenen Fenstern wurden aus Distanzen von gut einem Meter bis knapp drei Meter Masse berechnet. Diese wurden mit Referenzmassen, gemessen mit Laserdistanzmesser, verglichen (je vier Masse pro Bild). Dabei resultierte eine mittlere Standardabweichung von 1.7cm.

## 6 Fazit & Ausblick

Der hohe Dynamikumfang von Bildern von Fenstern führte zu Herausforderungen, vor allem bei der Auswahl des Markers. Die gefundene Lösung in Form eines A4-Blattes, scheint aber geeignet, trotz solchen stark unterschiedlichen Lichtverhältnissen zu funktionieren. Die entwickelte, mittels Python automatisierte, Kalibrierung von Smartphone-Kameras ist effizient und liefert gute Ergebnisse, wie in der anschliessenden Untersuchung von Fenster-Massen in Bildern gezeigt werden konnte. Die erreichte Standardabweichung von knapp 2cm ist beachtlich, bedenkt man die starke Extrapolation vom A4-Marker auf ein raumhohes Fenster. Augmentiert wurden nur einfachste Objekte, wie Quader, die Grundlage für weitere Anwendungen ist aber vorhanden. Dank der Kameraposition- und Ausrichtung können beliebige Objekte ins Bild gerechnet werden.

Mit im letzten Jahr vorgestellten „ARKit“ von APPLE (2017) bieten sich neue Möglichkeiten für die Messung von Objektdimensionen. So ist es möglich, die Messpunkte direkt mit dem Gerät anzufahren und damit auch ein präzises Anzielen der Messpunkte zu ermöglichen. Ein solches Beispiel zeigt (MILLER 2017). Solche, auf visueller Odometrie beruhende Verfahren, könnten sich für die Bestimmung von Objektdimensionen an Fenstern eignen. Wie robust sie bei gleichmässigen Texturen (weisse Wand) und überbelichteten Bildbereichen funktionieren, müsste geprüft werden.

Gerade für die Augmentierung von komplexeren Objekten an Fenstern, wäre es zudem notwendig, die Lichtverhältnisse erkennen und entsprechend adaptieren zu können. Verfahren dazu bestehen bereits (WANG & SAMARAS 2002; LOPEZ-MORENO et al. 2013; WEHRWEIN et al. 2015). Die Anwendbarkeit auf Fenster wäre in einem weiteren Schritt zu evaluieren.

## 7 Literaturverzeichnis

ABDULLAH, J. & MARTINEZ, K. 2002: Camera self-calibration for the ARToolKit. In: First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop. Proceedings. First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, Proceedings, Darmstadt, DOI: 10.1109/ART.2002.1107017.

- AGISOFT LLC, 2011: Agisoft Lens User Manual - Version 0.4.0. <http://downloads.agisoft.ru/lens/doc/en/lens.pdf> [Stand: 15.12.2017].
- AGISOFT LLC, 2016: Agisoft PhotoScan User Manual. Professional Edition, Version 1.2. [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan\\_1\\_2\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_1_2_en.pdf) [Stand: 20.07.2016].
- APPLE, 2017: ARKit | Apple Developer Documentation. <https://developer.apple.com/documentation/arkit> [Stand: 19.01.2018].
- ARTOOLKIT, 2016a: Camera Calibration App for Android. [https://archive.artoolkit.org/documentation/doku.php?id=4\\_Android:android\\_camera\\_calibration](https://archive.artoolkit.org/documentation/doku.php?id=4_Android:android_camera_calibration) [Stand: 17.01.2018].
- ARTOOLKIT, 2016b: Creating and Training Traditional Template Square Markers. [https://artoolkit.org/documentation/doku.php?id=3\\_Marker\\_Training:marker\\_training](https://artoolkit.org/documentation/doku.php?id=3_Marker_Training:marker_training) [Stand: 17.01.2018].
- AZUMA, R.T., 1997: A Survey of augmented reality. In: Presence **6**(4). 355-385.
- CANNY, J., 1986: A Computational Approach to Edge Detection. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. **PAMI-8**(6), 679-698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- FARIN, D., 2012: ImageMeter - Manual. <http://dirk-farin.net/projects/ImageMeter/manual.html> [Stand: 17.01.2018].
- HTW-INKA, 2014: Automatic camera intrinsics finder and database. <https://github.com/htw-inka/cam-intrinsics-db> [Stand: 17.01.2018].
- IMAGE MEASUREMENT CORPORATION, 2013: Image Measurement App. <http://www.imagemasurement.com/en/image-measurement-app> [Stand: 17.01.2018].
- JUNG, B., GRIMM, P., BROLL, W. & DÖRNER R., 2013: Virtual und Augmented Reality (AR/VR) Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität, eXamen.press, DOI 10.1007/978-3-642-28903-3\_8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- LENSFUN, 2015: Lensfun. <http://lensfun.sourceforge.net/> [Stand: 17.01.2018].
- LOPEZ-MORENO, J., GARCES, E., HADAP, S., REINHARD, E. & GUTIERREZ, D., 2013: Multiple Light Source Estimation in a Single Image. In: Computer Graphics Forum, **32**(8), 170-182. DOI: 10.1111/cgf.12195.
- LUHMANN, T., 2010: Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 3. Auflage Berlin: Wichmann, H.
- MILLER, C., 2017: Latest ARKit app turns iOS into a powerful measuring tool. <https://9to5mac.com/2017/09/06/latest-arkit-app-turns-ios-into-a-powerful-measuring-tool-video/> [Stand: 19.01.2018].
- OPENCV, 2017: Camera Calibration and 3D Reconstruction - solvePnP. [https://docs.opencv.org/3.4.0/d9/d0c/group\\_\\_calib3d.html#ga549c2075fac14829ff4a58bc931c033d](https://docs.opencv.org/3.4.0/d9/d0c/group__calib3d.html#ga549c2075fac14829ff4a58bc931c033d) [Stand: 19.01.2018].
- POTATOTREESOFT, 2017: ON 3D-CameraMeasure. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.potatotree.on3dcamerameasure&hl=de> [Stand: 17.01.2018].
- RAY, D., 2016: Camera Calibration database – argus: 3D for the people. <http://argus.web.unc.edu/camera-calibration-database/> [Stand: 17.01.2018].

- SMARTPICTURE TECHNOLOGIES, 2018: Smart Picture 3D – Snap. Measure. Share. <http://smartpicture3d.com/> [Stand: 17.01.2018].
- SUTHERLAND, I., 1965: The ultimate display. In: *Multimedia: From Wagner to virtual reality*.
- WANG, Y. & SAMARAS, D., 2002: Estimation of multiple directional light sources for synthesis of mixed reality images. In: *10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2002. Proceedings*, 38-47. DOI: 10.1109/PCCGA.2002.1167837.
- WEHRWEIN, S., BALA, K. & SNAVELY, N., 2015: Shadow Detection and Sun Direction in Photo Collections. In: *2015 International Conference on 3D Vision, Lyon*, 460-468. DOI: 10.1109/3DV.2015.58.