
Christoph Engemann

Raum im Raum – Architektur und Augmented Reality

Dass Räume aus Computern kommen, das ist schon länger der Regelfall in der Architektur. Entwurf, Planung, statistische Berechnung und Bauausführung rekurren auf CAD-Werkzeuge¹ und Building-Information-Models (BIM)². Die Architektur ist in allen ihren Prozessschritten auf Computer verwiesen, und die regulatorische Forcierung von BIMs in der Baubearbeitung und -durchführung treibt diese Entwicklung voran. Dort wo Körper von gebauten Räumen umgeben werden oder mit diesen interagieren, sind diese bereits digital strukturierte Umgebungen.

Derzeit spielt sich aber eine bemerkenswerte Inversion ab, bei der es nicht mehr darum geht, inwieweit Räume aus Computern kommen, sondern umgekehrt Räume in Computer kommen. Hintergrund sind die von den großen Plattformanbietern Facebook, Amazon, Apple, Netflix, Google (FAANG) sowie Microsoft intensiv beforschten Augmented Reality (AR) Projekte. Mit erheblichem Kapitaleinsatz wird versucht, für die in den kommenden Jahren erwartete AR-Welle vielversprechende Features und Anwendungen für Smartphones und Wearables zu entwickeln. Während die 2014 von Google vorgestellte AR-Brille Google Glass ein veritabler Flop war, lösen einige An-

1 Kittler 2012; Carpo 2017.

2 Cardoso-Llach 2015, 2018.

Abb. 1 Ikea AR App



wendungen auf den Bildschirmen der Smartphones und Tablets bereits heute erste Versprechen der Augmented Reality ein. Dazu zählen das in neueren iPhone Modellen als App verfügbare virtuelle Maßband ebenso wie Apps zur Bestimmung von Sternen am Himmel, von Gipfelnamen in Gebirgen oder zur Platzierung von Möbeln, Installationen und anderen Objekten in Innenräumen.

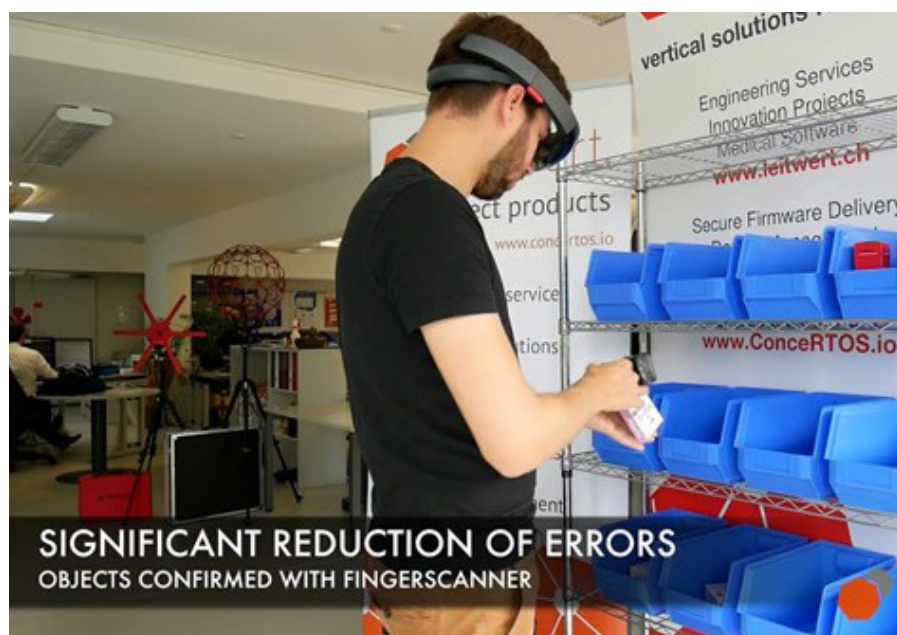
Für letzteres wird beispielsweise vom international tätigen Möbelhaus Ikea bereits eine App angeboten (Abb. 1). Apps zum virtuellen Anprobieren von Kleidung, wie sie Sportartikelmarken und Versandhäuser wie Zalando zur Verfügung stellen, basieren auf denselben Technologien. Gerüchte über den Einstieg in den Smartglass-Markt durch Apple oder (Meta)Facebook sowie über neue Anläufe von Google in diesem Segment reißen nicht ab. Alle genannten Anbieter unterhalten große Teams, die aktiv an der Hard- und Software von AR-Produkten arbeiten. AR soll zu einem wesentlichen Teil des Stacks, des sozio-technischen Zirkulationssystems der Plattformanbieter werden³.

Jenseits der auf Konsumenten abzielenden Produkte, kann Microsoft im Geschäftskundenbereich bereits heute einen Achtungserfolg mit den mixed reality glasses HoloLens vorweisen⁴. Wegen ihrer Größe und ästhetisch wenig ansprechenden Form sowie einem Preis von über \$3000 pro Exemplar zielen diese AR-Smartlasses nicht auf Endverbraucher, sondern auf Anwendungen in Firmen und Fabriken ab. So hat die HoloLens in Arbeitsumgebungen und nicht zuletzt beim US-Militär Fürsprecher gefunden. Offenbar bietet die HoloLens insbesondere bei Warenlogistik und in Bereichen, in denen viele und wechselnde Kontextinformationen bei Beweglichkeit des Körpers und gleichzeitiger Verfügbarkeit beider Hände notwendig sind, Vorteile gegenüber Tablets oder fest montierten Bildschirmen, (Abb. 2). Dazu zählt auch der Gesundheits- und Pflegebereich, wo die kontextsensitive Ein- und Überblendung von medizinischen Diagnoseinformationen, Anleitung

³ Vgl. Bratton 2016; Straube 2016; Gillespie 2010.

⁴ Microsoft 2019.

Abb. 2 HoloLens Fabrik



von Arbeitsschritten, Zuordnungen von Medikamenten, Verbandsmaterialien usw. erprobt wird. Für alle genannten Anwendungsszenarien gilt, dass die Verbindung von AR mit Enterprise Resource Management (ERM) Systemen eine vertiefte Integration der Unternehmenssteuerung mit der räumlichen Wahrnehmungs- und Handlungswelt der Arbeiter beabsichtigen. Die HoloLens verändert die Relation zwischen den Arbeitern und deren Raum, indem sie diesen mit Informationen auflädt und in unternehmensrelevante Feedbackschleifen stellt. Der gebaute Raum selbst wird dabei zu einer Art Bildschirminterface, in dem sich haptische Manipulationen an physikalischen Objekten mit Clickwork und optischen Overlays verschränken. Blick, Hände, Raum und Informationen interagieren nun mit dem Raum, wie sie es vorher mit Maschinen und Computern taten. Der Raum tritt dabei aus dem passiven Hintergrund hervor und verliert endgültig seinen Containercharakter. Er wird von einem Container des Arbeitsprozesses zu einem Teil desselben. Wie weiter unten gezeigt wird, geht damit eine Verzeitlichung einher, bei der jeder Punkt eines gegebenen Raums in jedem Moment potentiell zu einer mess- und steuerbaren Interaktionsoption und damit Transaktionschance werden kann. In der Bewirtschaftung von Unternehmen und Institutionen wird versprochen, dass Raum-Körper Relationen mit diesen Systemen eine besser kalkulierbare und nutzbare Variable werden. Der Raum soll sich von einem eher akzidentiellen und statischen Moment der Arbeitsorganisation, das wesentlich durch Beleuchtung, Belüftung und Anordnungen der Einrichtung definiert ist, zu einem Raum als einem dynamisch erfassbaren und bewirtschaftbaren Aspekt wandeln.

Die Enterprise Resource Management Systeme und deren Datenbanken, die bislang Güter, Werkzeuge und Arbeitsvollzüge der Angestellten und Arbeiter verwalteten, sind somit im Begriff, zu operativen „Medien von Körper-Umwelt-Kopplungen“⁵ zu werden. Auch für die auf Konsumenten abzielenden Produkte gilt, dass ökonomische Interessen die Entwicklung bestimmen. Nicht das Arbeiten, sondern das Wohnen und der Konsum stehen hier im Vordergrund des Interesses. Die gebauten Umgebungen der Reproduktion und des Konsums werden hinsichtlich Mikrolokalisations- und Orientierungsdaten für die Auswertung von Kundenverhalten vermessen, um bessere Werbe- und Transaktionschancen zu ermitteln. Darüber hinaus versprechen neuartige AR-basierte Unterhaltungsformate und Spiele Monetarisierungsoptionen in der Freizeit. Dabei werden ebenfalls die von Konsumenten besuchten und genutzten Räume und Umgebungen in Verzeitlichungsdynamiken überführt. Sowohl für den Wohn- und Konsumbereich wie in der Arbeitssphäre werden somit derzeit Augmented Reality Lösungen in der Entwicklung forciert. Es steht zu erwarten, dass Form und Gestalt wie Räume erfahren und genutzt werden und in den nächsten Jahren wesentlich durch diese Medien mitbestimmt werden. Bei AR-Systemen handelt es sich faktisch um Computer, die an Körpern getragen werden. Das Spektrum reicht dabei von den Smartglasses wie der HoloLens, über Handhelds wie Smartphones und Tablets bis hin zu Smartwatches oder Wearables wie smarte Kopfhörer (AirPods).

5 Kasprovicz 2019: 333.

Die Geräte bereichern die räumliche Umgebung der Nutzer mit visuellen, auditorischen oder haptischen Informationen an, die meist exklusiv am Körper des Nutzers ausgegeben werden und von anderen Nutzern im Raum nur unter bestimmten Bedingungen und dann meistens über deren individuelle Geräte wahrnehmbar sind. So können haptische Informationen in Form von Vibrationen an Smartphones und Smartwatches, aber auch an Brillengestellen kontext- und lokalisationsabhängig Aufmerksamkeit erzeugen, Richtungshinweise oder auch Warnungen geben. Sie kommen insbesondere für die ablenkungsfreie Navigation zum Einsatz. Dasselbe gilt für auditive Informationen, die über Lautsprecher oder Kopfhörer eingespielt werden und Richtungsanweisungen oder Warnhinweise mitteilen oder schlicht zur Unterhaltung dienen. An diese orientierende Funktion binden sich die unmittelbarsten Verwertungserwartungen von AR-Anwendungen. Sie wird unter dem Begriff Indoor-Navigation rubriziert, worunter die AR-geführte Orientierung in Innenräumen verstanden wird. Öffentliche und privat genutzte Räume und Gebäude werden dabei unterschiedlich behandelt. Zu ersteren zählen Shopping Malls, Kinos, Bibliotheken, Bahn- und Flughäfen usw. Hier gibt es einerseits unmittelbare ökonomische Verwertungsszenarien lokalisations- und situationsbezogener Werbung und Orientierung. Andererseits macht der öffentliche Charakter dieser Gebäude es möglich, diese vorab zu vermessen, zu fotografieren und drahtlose Netzwerke zu erfassen. Entsprechend sammeln die FAANG Unternehmen in öffentlich zugänglichen Gebäuden derzeit intensiv Daten.

Ähnlich wie bei Google Streetview und anderen Mappingprojekten des öffentlichen Raums werden dazu diese Räume systematisch erfasst und in Datenbanken überführt. Neben den Vermessungsdaten und der optischen Erfassung gehen dabei auch Adressdaten, Baupläne und Lagepläne in die Erhebungen ein. Wie bei Kartenanwendungen im Freien, sollen die Nutzer auch nach Lokalisationen im Gebäudeinnern suchen und zu den ausgewählten Zielen geleitet werden können. Dabei können AR-Anwendungen diese Suchfunktion mit Kontextinformationen zu Angeboten in der räumlichen Nähe und mit Weganweisungen aufladen. Das ökonomische Interesse der FAANG-Unternehmen besteht darin, Räume in Interaktionschancen zu überführen und diese Informationen in ihren Datenbanken zu monopolisieren. Bei öffentlichen Gebäuden sind dies insbesondere die Points of Sale von Geschäften, Restaurants, Bars und Cafés. Wo Geld umgeschlagen wird, sollen AR-Systeme an diesen Transaktionen Anteil haben. Vorbild dieser Visionen ist das in China weit verbreitete WePay-System, das bargeldloses Zahlen mit dem Smartphone an praktisch jedem Ort ermöglicht. Apple hat mit dem Apple Clips im Juni 2020 ein ähnliches AR-basiertes System für ortsbezogene Transaktionen vorgestellt.

In privaten Umgebungen sind solche Such- und Zahlungsfunktionen ökonomisch weniger attraktiv und technisch schwerer zu realisieren. Hier fehlen die vorab erhobenen und mit Adressen und Bauplänen abgeglichenen Daten. Das Raummodell muss ad-hoc auf Grundlage der durch das Gerät ermittelbaren Sensordaten er-

stellt werden. Tatsächlich ist für Augmented Reality zwingend, eine gerätebezogene selbstgenerierte Repräsentation der Umgebungen, in denen sie genutzt werden, zu erzeugen. Das gilt sowohl für öffentliche und bereits vermessene Räume wie auch für private Umgebungen. Dabei sind in Innenräumen Verfahren wie GPS zur Lokalisation entweder zu grob oder nicht verfügbar. Eine externe Referenzialisierung der Position des jeweiligen Geräts ist damit entweder nicht möglich oder für AR-Anwendungen zu ungenau. Das Gerät ist vielmehr darauf angewiesen, sich selbst im Raum zu lokalisieren. Je nach Komplexität der Anwendung und Kapazitäten des Geräts muss es dazu ein mehr oder minder anspruchsvolles Modell des umgebenden Raums generieren. Primitive Geräte wie Staubsaugerroboter, die keine Echtzeitinteraktion mit Nutzern erfordern, kommen mit einfachen Raummodellen aus. Komplexere Systeme und solche mit Echtzeitinteraktion benötigen ein Modell, das die als Pose bezeichnete Position und Ausrichtung des Gerätes in Relation zur Umgebung und zum Nutzer repräsentiert.

Bei Smartphones dienen die internen Inertialsensoren unter Einbeziehung der Lage der Kameras als Grundlage zur Ermittlung der Pose. Aus dieser können die Position des Körpers des Nutzers sowie dessen wahrscheinliche Blickrichtung extrapoliert werden. Objekterkennungssoftware klassifiziert aus den Kameradaten die vorhandenen Möbel und andere Gegenstände im Raum und schätzt somit die Bewegungsradien und -möglichkeiten des Nutzers ab. Die Einführung von Radar und vor allem LIDAR Sensoren in Tablets und Smartphones werden gegenüber den optischen Kameradaten die Ermittlungsgenauigkeit der Pose noch erhöhen. Das optische, akustische und haptische Wahrnehmungsfeld des Nutzers kann dann mit digital generierten Informationen und Reizen angereichert und überlagert werden. Ein Augmented Reality-Device ist somit eine Apparatur, die Körper und Raum verknüpft und den Raum in einen digitalen Aktionsraum überführt. Smartphones, Wearables und andere Geräte sollen mit Augmented Reality Anwendungen zu Schnittstellen zwischen virtuellen und realen Räumen gemacht werden. Dazu müssen diese Geräte zu Raumexplorateuren werden. Wie im Weiteren gezeigt werden wird, handelt es sich dabei um Techniken der Erzeugung von Räumen in Räumen.

Technisch und konzeptuell eng verwandt mit Augmented Reality und historisch vorhergehend sind die seit den 1980er Jahren propagierten Virtual Reality Umgebungen. Schon 1965 hatte der Computergraphikpionier Ivan Sutherland in dem Text „The Ultimate Display“⁶ die Vision eines vollständig immersiven Computerdisplays beschrieben. Die Cyberspaceliteratur der achtziger Jahre und das gleichzeitige Aufkommen von Personal Computern machten die virtuelle Realität zu einem zentralen Element des digitalen kulturellen Imaginären. Jedoch entsprachen lange Zeit die technischen Möglichkeiten nicht den Erwartungen⁷. Die durch den Smartphonemarkt vorangetriebene Entwicklung kleiner, hochauflösender Displays, von Inertialsensoren und günstigen Prozessoren hat seit etwa 2012 VR-Systeme wie Oculus Rift, HTC Vive, Valve Index und Sony VR hervorgebracht. Der kommerzielle

6 Sutherland 1965.

7 Saker/ Frith 2020: 2.

Erfolg ist bislang mäßig, aber Firmen wie Facebook, Microsoft und Sony investieren weiterhin erhebliche Summen in diese vornehmlich für Spiele genutzten Interfaces.

8 Vgl. Saker / Frith 2020: 2.

Im Unterschied zu Augmented Reality wird hier ein vom umgebenden Raum distinkter virtueller Raum erzeugt⁸. Statt den der vom Nutzer über seine Sinne wahrgenommenen Raum mit optischen, haptischen und akustischen Informationen anzureichen wird, soll der umgebende Raum mittels des Headsets und dort eingespielter optischer und akustischer Reize in der Wahrnehmung möglichst vollständig ersetzt werden. Wie Sutherland bereits 1965 feststellte, wird damit für den Nutzer die Familiarität der Welt physikalischer Objekte herausgefordert. Sutherland träumt von einer Erfahrbarmachung physikalischer Kräfte jenseits newtonscher Größen wie Schwerkraft, Trägheit und Friktion. Zugleich benötigen Virtual Reality Systeme Repräsentationen der Räume, in denen die Immersionserfahrung hergestellt werden soll. Denn die Position des Headsets referenzialisiert die Kopfbewegungen des Betrachters jeweils auf Punkte des umgebenden Raums, um auf dieser Grundlage die der Blickrichtung entsprechenden Graphiken und Sounds zu berechnen. Der immersive Raum des VR soll den Raum, in dem die Nutzer sich aufhalten, verschwinden und vergessen machen. Zugleich existiert dieser immersive Raum aber buchstäblich in Abhängigkeit vom den Nutzer umgebenden Raum und von der Position seines Körpers in diesem Raum. Während für den Nutzer und die Objekte in der VR-Umgebung gänzlich andere physikalische Regeln herrschen können, ist die Generation dieser virtuellen Realität auf die physikalische Umgebung verwiesen.

Schließlich beruht auch das autonome Fahren auf dieser Verschränkung von Körpern, Geräten und Devices. Allerdings mit zwei entscheidenden Unterschieden: Erstens ist es nicht ein Körper, sondern ein Fahrzeug, das sich orientieren muss. Zudem bewegen sich autonome Fahrzeuge zweitens nicht in Innenräumen, sondern in der Regel in vorkartographierten Außenarealen. Das gilt für selbstfahrende Fahrzeugen an Land, für Drohnen in der Luft und auch für Unterwasserroboter. Insbesondere für das autonome Fahren an Land mit hohen Geschwindigkeiten gilt jedoch, dass die medientechnischen Verfahren der Orientierung und Verortung der die Fahrzeuge umgebenden Räume zwischen all diesen Fahrzeugarten eng verwandt sind⁹.

9 Sprenger 2019/2020.

Zwischen den Entwicklungen von Smartphones und deren seit 2010 rapide ansteigenden Rechen- und Speicherkapazitäten sowie deren Ausbau zu Sensorplattformen, die über Gyroskope, Kameras und andere Schnittstellen verfügen, und den ebenfalls in der Dekade zwischen 2010 und 2020 kommerzialisierten Projekten der Virtual Reality einerseits und des autonomen Fahrens andererseits bestehen somit vielfältige Überschneidungen. Ihnen ist gemeinsam, dass Geräte in Bewegung aus den Sensordaten ein zeitkritisches Modell der jeweiligen Umgebung integrieren müssen.

SLAM/CLM – Simultaneous/Concurrent Localization and Mapping

Die Akronyme SLAM und CLM stehen für simultane Lokalisierung und Kartierung und bezeichnen eine Klasse von algorithmischen Verfahren, mit denen Systeme sich selbst in einem Raum zugleich lokalisieren und diesen gleichzeitig kartieren. Augmented Reality und Virtual Reality Systeme, wie auch autonome Fahrzeuge benutzen SLAM-Algorithmen um ihre aktuelle Position in Relation zu den Objekten im umgebenden Raum zu bestimmen. SLAM/CLM sind damit die medientechnischen Dispositive der hier zur Diskussion gestellten ‚Raum im Raum Verfahren‘. Die konzeptuellen Grundlagen von SLAM wurden Mitte der achtziger Jahre für die Navigation von Robotern in Innenräumen entwickelt.¹⁰ Sie basieren damit zunächst auf einer Unterscheidung zwischen den Praktiken der Kartierung von Außen- und Innenräumen. Diese Unterscheidung ist aber mit dem Erfolg von SLAM-Verfahren beim autonomen Fahren zunehmend in Frage gestellt¹¹. Grundlage dieser Unterscheidung zwischen Innen- und Außenraumnavigation war unter anderem, dass für letztere auf vorgefertigte Karten und Lokalisation durch GPS oder andere Formen externer Positionsreferenzialisierung rekuriert werden kann. In Innenräumen dagegen wird davon ausgegangen, dass es kein „prior knowledge“ gibt¹². Wie oben angeführt, können Fahrzeuge in Außenarealen auf Karten, GPS-Systeme, teilweise den Sonnenstand oder Sternbildpositionen zurückgreifen und verfügen damit bereits über ein Weltwissen, das ihnen mindestens eine grobe Orientierung erlaubt. Im Unterschied dazu kommen SLAM-Systeme überall dort zum Einsatz, wo Weltwissen selbstständig auf Grundlage von Sensordaten als eigene Position in Relation zu Objekten und Begrenzungen modelliert werden muss. Innerhalb der informatischen Debatte wird dieses als ein hartes Problem beschrieben, denn ohne Kartierung ist keine Lokalisation des Geräts und ohne Lokalisation des Geräts ist keine Kartierung möglich.¹³

Die Begriffe Simultanität bzw. Concurrent verweisen darauf, dass hier faktisch eine Art Raum- und Positionsschöpfung im Moment der Navigation vollzogen werden muss. Denn der das Gerät umgebende Raum ist ein Raum der Unsicherheit, ein Ensemble kontingenter Variablen, aus dem die SLAM-Algorithmen auf Grundlage unscharfer (noisy) Daten einen eigenen Raum konstruieren, mit dem sie über sich selbst und ihre Lage und ihre Ausrichtung im Raum Auskunft erlangen.¹⁴ Jeder noch so eindeutig gestaltete und durchgeplante architektonische Raum und die darin befindlichen Objekte werden von SLAM-Systemen mithin als Kontingent behandelt, und jede Bewegung des Geräts stellt das berechnete Modell über diesen Raum wieder in Frage. Die architektonische Konstruktion wird innerhalb eines SLAM-Systems gleichsam mit einer jeweils eigenen, momenthaft gewonnenen Konstruktion überschrieben, deren determinierender Faktor nicht Statik, sondern Dynamik ist. Die Räume im Raum, die SLAM-Verfahren berechnen, zittern und oszillieren und können durch bereits triviale Ereignisse wie die Veränderung der Lichtverhältnisse weiter beunruhigt werden. Entscheidend ist ihr zeitkritischer Charakter, die immer nur momentan gewonnene Sicherheit über die eigene Orientierung und Position in einem akzidentiellen, architektonischen Raum (Abb. 3).

¹⁰ Smith /Cheeseman 1986; Thrun 2001; Thrun et al. 2006; Durrant-Whyte / Bailey 2006; vlg. Sprenger 2019: 485; Kanderske / Thielmann 2019: 119.

¹¹ Durrant-Whyte / Bailey 2006: 106; Kanderske / Thielmann 2019: 119.

¹² Durrant-Whyte / Bailey 2006: 2.

¹³ Durrant-Whyte / Bailey 2006: 1.

¹⁴ Smith /Cheeseman 1986; Thrun 2001; Thrun et al 2006; Durrant-Whyte / Bailey 2006.

15 Lu/Milios 1997; Thrun/Montemerlo 2016.

16 Apple 2018; Google 2019; Microsoft 2019.

17 Vgl. Freemann 2004; Velminsky 2009.

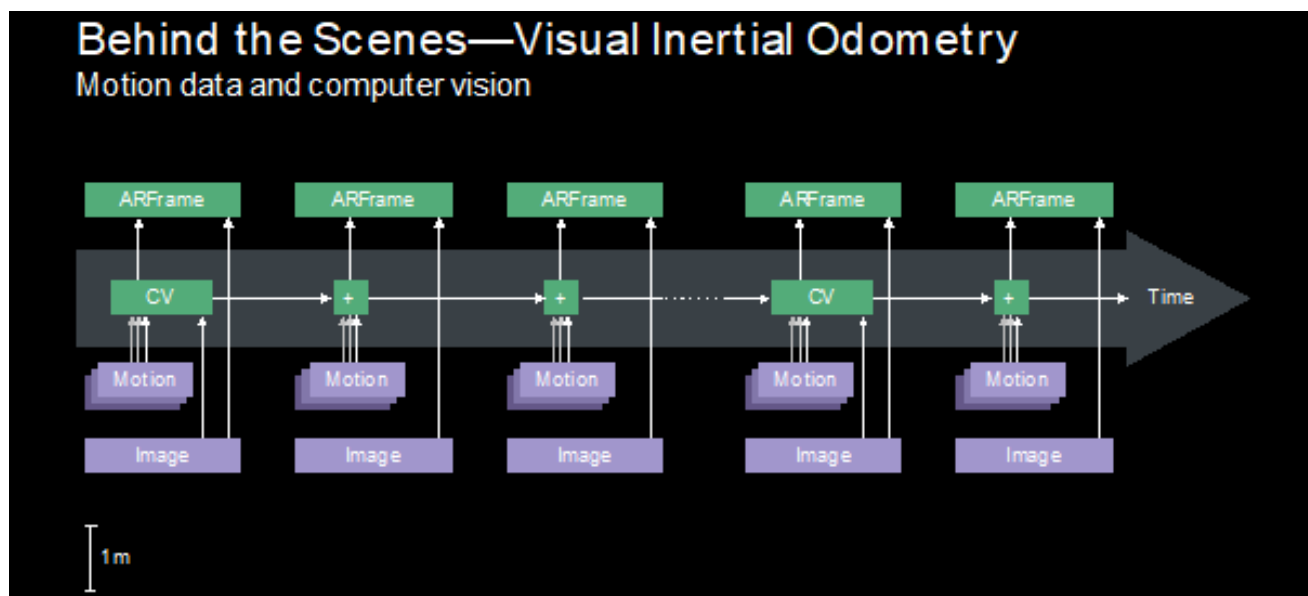
18 Engemann 2014/2017.

19 Engemann 2020.

Derzeit am erfolgreichsten haben sich Graph-Slam-Verfahren¹⁵ erwiesen, die sowohl in Microsofts Holo Lens, in Googles Android als auch in Apples iOS bzw. iPadOS zur Anwendung kommen¹⁶. Der Begriff ‚Graph‘ bezieht sich hier nicht auf Graphiken und damit visuelle Repräsentationsformate, sondern auf ‚Computational Graphs‘, die im Deutschen auch als Euler-Graphen bezeichnet werden. Der Schweizer Mathematiker Leonard Euler hatte im 18. Jahrhundert die mathematische Grundlage für Verfahren gelegt, mit denen die Relationen zwischen Entitäten mathematisch handhabbar gemacht werden. Entitäten wie Menschen, Gegenstände oder Netzwerkadressen werden dabei als Knoten bezeichnet und deren Verbindungen als Kanten dargestellt. Die Distanz und relative Lage der Knoten untereinander werden so berechenbar. Anwendung finden Euler-Graphen in so unterschiedlichen Bereichen wie Dateisystemen, Schaltungsbau, Verkehrswegeplanung, Molekularchemie¹⁷ oder in den sozialen Netzwerkanalysen im War on Terror¹⁸ und in der Epidemie- und Seuchenbekämpfung zur Kontaktverfolgung¹⁹. Innerhalb dieser Anwendungsfelder generieren Graphen eine Epistemologie der Relationalität, die mit diesen Verfahren zugleich kartierbar wie prozessierbar werden kann. Für diese Prozesse der Kartographierbarkeit, oder im englischen Mapping, sind die visuellen Konnotationen einer Karte sekundär. Komplexe Graphen entziehen sich einer Darstellbarkeit in euklidischen Anschauungsräumen und ihrer Visualisierung. Wie beispielsweise durch das Softwarepaket Gephi bieten Bilder komplexer Graphen zwar explorative Möglichkeiten, visualisieren jedoch vor allem Komplexität. Graphen eignen sich besonders gut, um dynamische Situationen und Prozesse gleichsam zu kartieren. Sie machen die sich verändernden Relationen von Entitäten mathematisch beschreibbar.

Es ist dieser transtemporale Aspekt, der Graph-SLAMs für Augmented Reality Anwendungen attraktiv macht. Denn im Unterschied zu früheren SLAM-Verfahren überschreiben hier die eintreffenden Sensordaten nicht die

Abb. 3 Integration von Bild und Bewegungsdaten über Zeit in Apples ARKit



älteren Daten der modellinternen Karte, sondern werden über Zeit in einem Graphen integriert²⁰. Da Augmented Reality vorhandene Objekte im Raum mit virtuellen Objekten und Interaktionsangeboten zu verschränken versucht, sind solche zeitstabilen Kartographien von Vorteil. Graph-Slam-Verfahren generieren einen Graphen, bei dem einzelne Punkte von Tischkanten, Lichtreflexionen, monochromen Flächen oder andere gut identifizierbare Elemente referenzialisieren. Im häufigsten Fall werden diese aus Videobildern der Kameras am Gerät extrapoliert. Über die Interpolation zwischen Einzelaufnahmen aus mehreren Videobildern kann in Verbindung mit Laufzeitmessungen des Lichts und der gleichzeitigen Abfrage der Daten von gyroskopischen Inertialsensoren die Distanz des Gerätes zu diesen Elementen berechnet werden. Die Genauigkeit bewegt sich dabei bis zu einer Distanz von etwa fünf Meter unter guten Lichtbedingungen im einstelligen Zentimeterbereich. Zu helle und zu dunkle Räume erschweren die Messung. Bei Handys, die über mehrere Kameras verfügen oder die Umgebung mittels einer Leuchte, Infrarotstrahlen oder LIDAR-Systemen aktiv illuminieren oder Radarmessung vornehmen können, werden bessere Messergebnisse erzielt. Radarvorrichtungen existieren bereits in einigen chinesischen Smartphones und werden von Google in das Pixel Handy integriert. Unter diesen Verfahren weist LIDAR die höchste Genauigkeit und größte Verbreitung in verschiedenen Industriezweigen auf.

LIDAR steht für Light Detection and Ranging und ist ein dem Radar ähnliches Verfahren, bei dem pulsierende Lichtsignale ausgesendet werden, und aus den Rücklaufzeiten der Abstand zu den umgebenden Objekten und Begrenzungen ermittelt wird. Mit Ausnahme von Tesla Fahrzeugen, deren Autopiloten auf Videoauswertung rekurren, nutzen die SLAM-Modelle in autonomen Fahrzeugen ausnahmslos LIDAR-Systeme. Entsprechend umfangreich sind die Erfahrungswerte, Algorithmen und Softwarekomponenten, auf die hier zurückgegriffen werden kann. Apple hat 2020 in den iPad-Pro und iPhone 12Pro Modellen LIDAR eingeführt. Es ist absehbar, dass sukzessiv alle Smartphones LIDAR integrieren werden. Bei neueren Apple Modellen werden außerdem aus den Laufzeiten von via Bluetooth ausgetauschten Daten die Distanzen zu anderen Geräten wie Smartwatches, Laptops oder auch extra dafür im Raum angebrachten Sendern ermittelt. Die Bluetooth Signalstärkenmessung wird auch für Corona tracing Apps genutzt, wo die hohe Variabilität der Messgenauigkeit zwischen mehreren Metern und dem einstelligen Millimeterbereich bewusst in Kauf genommen wurde²¹. Für Augmented Reality Anwendungen sind engere Toleranzen gefordert, dennoch können Bluetooth-Distanzmessungen zwischen mobilen Geräten in Kombination mit Smarthome-Geräten eine zusätzliche Kalibrierungsquelle von SLAM-Modellen ergeben.

Aus den verschiedenen Sensor- und Antennendaten errechnen die SLAM-Verfahren eine Punktwolke, die einzelne Elemente im Raum referenzialisiert. Bei Graph-Slams werden diese Punkte in einen Graphen überführt, der die einzelnen Punkte in ihrer relativen Distanz zueinander bestimmt und bemaßt. Bei Lageveränderungen des Geräts werden bei weiterlaufender Kamera und Sensorik permanent die im Modell abgelegten Punkte mit

20 Thrun/Montemerlo 2016: 1.

21 Veale et al. 2020; Engemann 2020.

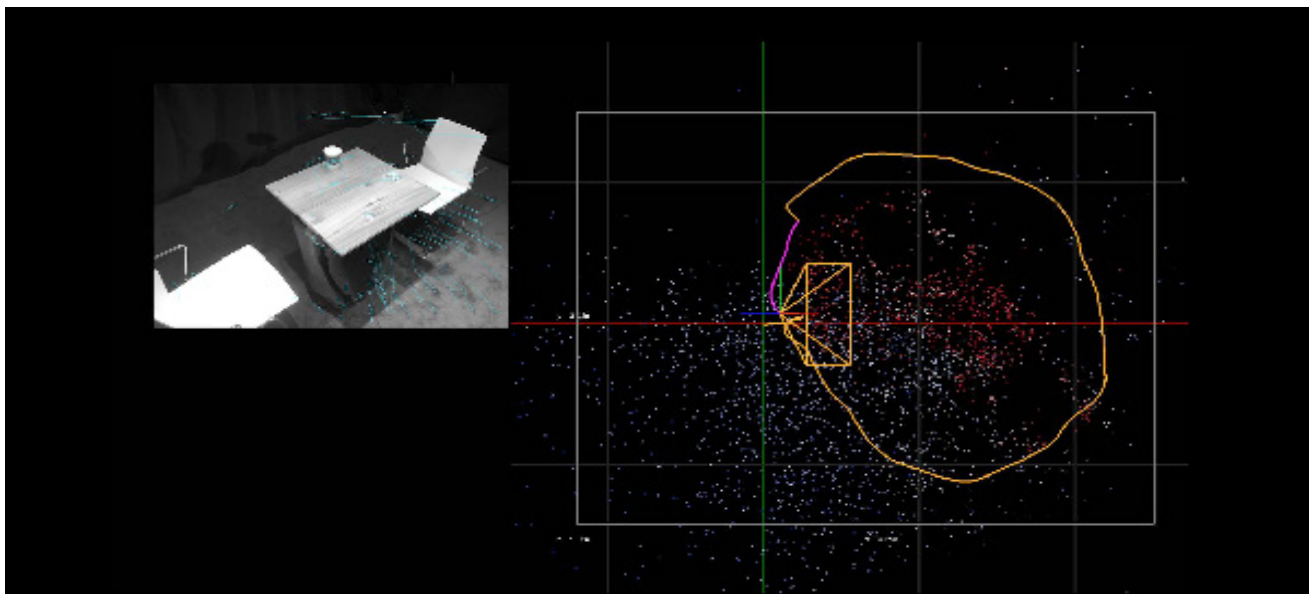
den neu einlaufenden Daten verglichen. Das Graphenmodell erlaubt es dabei bereits einmal erfasste Punkte anhand ihrer Relation zu anderen Punkten wiederzuerkennen. Neue Punkte werden zugleich in Relation zu bereits bekannten gesetzt, und über die Laufzeit des Programms entsteht damit ein Graph, der die Objekte und das Gerät in ihren Relationen zueinander kartiert. Die visuellen Repräsentationen der resultierenden SLAM-Modelle zeigen für menschliche Betrachter lediglich wolkenartige Punkthaufen, (Abb. 4) vermitteln dem Gerät jedoch Informationen über seine Position im Raum sowie die Abstände zu anderen Objekten und Hindernissen. Der Raum im Raum von AR-Systemen bei Apple, Google und Microsoft ist somit ein Graph.

Zugleich ist der entstehende Raum im Raum ein privater Raum, der auf ein Gerät und dabei auf eine Person, die dieses Gerät nutzt, zentriert und kalibriert ist. Der Agent ist in diesen Modellen also immer zunächst das Gerät, dessen Sensordaten ausgewertet werden und in eine SLAM-Repräsentation eingehen. Der Körper des Nutzers ist eine daraus abgeleitete Größe, dessen Position relativ zum Gerät und relativ zum Raum bestimmt wird. Es handelt sich um ein Modell des Raumes, in dem das Gerät einen Punkt darstellt, von dem abgeleitet der Nutzer ein weiterer Punkt ist. Bei jeder Bewegung, die der Nutzer macht, werden die Orientierung des Geräts, dessen relative Abstände zu erfassten Punkten im Raum, die Lage von Bildschirm und Eingabeschnittstellen neu bestimmt, dann wird eine interne, dreidimensionale Punktekarte der Umgebung erstellt. Der menschliche Körper wird somit zum Moment einer Raumerfassung, bei dem die Geräte einen sphärischen Raum um sich selbst entwerfen, dessen äußere Membran durch die Schwelle der Messgenauigkeit bestimmt wird, (Abb. 5).

Raumverluste und Raumgewinne

Die bis hierher skizzierten Entwicklungen illustrieren, dass das Primat der Architektur, Räume zu generieren, unter Druck kommt. In den industrialisier-

Abb. 4 Apple AR-Kit Punktwolke



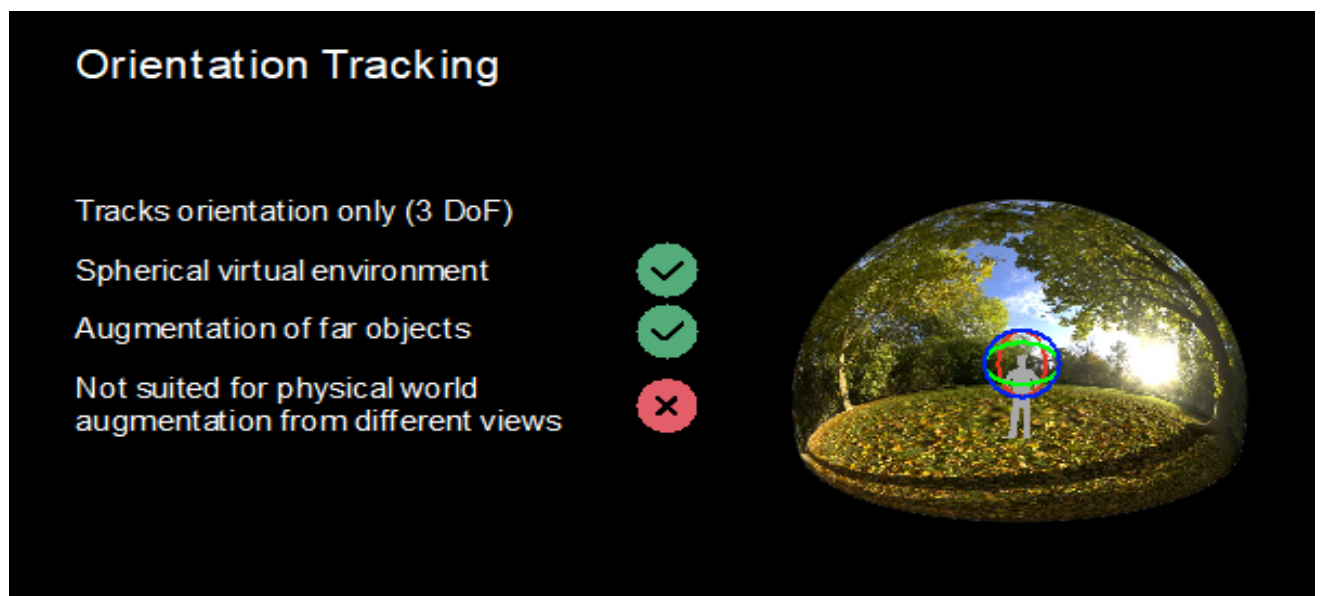
ten Ländern hatte die Architektur historisch das Vorrecht errungen, Räume zu gestalten und zu planen, welche Körper situieren, beherbergen, bewirtschaften, unterhalten, und deren Reproduktion zu erlauben: Wohnen, Arbeiten und Konsum.²² Die Beziehung zwischen Räumen und Körper wird durch AR-Systeme verändert. Die gebauten Umgebungen sind für SLAM-basierte AR-System im ersten Schritt kontingente Umgebungen, aus denen eigene Räume prozessiert werden, die dann im zweiten Schritt die Beziehung zwischen Körpern und Räumen modifizieren. Die Körper der Architekturnutzer sind nun Träger und Schnittstellen von Geräten und Services, die in architektonisch entworfene und realisierte Räume neue Räume eintreten lassen, die mit den inzwischen beinahe veraschten aber ehemals überhitzten Diskursen über Virtual Reality und Telepräsenz²³ kaum beschreibbar sind. Statt wie in der Virtual Reality die Körper quasi aus dem umbauten Raum herauszunehmen, in dem dieser akustisch und visuell zum Verschwinden gebracht wird und mit einem alternativen Raum überdeckt wird, dienen beim AR die umgebenden Räume als Interfaces zur Generierung von individualisierten Räumen im Raum. Zwischen die Architektur und die Körper tritt damit ein neuer Raumakteur, der in gebaute Räume neue Räume überlagert. In der Statik des gebauten Baukörpers erscheinen neue dynamische Umgebungen, die in SLAM-Augmented Reality Systemen radikal auf die Nutzerkörper zentriert sind. In Immobilien tauchen damit Räume auf, deren epistemologische Grundlagen auf Mobilität, auf dem Problem der Navigation von Geräten in Innenräumen beruhen. Es sind dies Räume im Raum, die nur teilweise in euklidischen Geometrien und ihren visuellen Registern überhaupt darstellbar sind, die zudem radikal dynamisch sind und in ihrer Situationsabhängigkeit nur temporär existieren.

Die Verzeitlichungsdynamik von AR-Systemen ist dabei eine doppelte, erstens basieren die SLAM-Systeme wie gezeigt auf einer zeitkritischen Probabilistik der eigenen Positionsbestimmung, zweitens knüpfen sich an diese

22 Gleiter 2018.

23 Baudrillard 1995; Virilio 1996.

Abb. 5 Sphärischer Raum Apple AR-Kit



Positionsbestimmungen und die daraus generierten Objektoverlays ökonomische Verwertungsszenarien. Jeder Moment der Bewegung im Raum wird innerhalb der Plattformfirmen in Transaktionschancen übersetzt, für die die AR-Systeme zugleich Daten liefern wie Interfaces bereitstellen. Welche Ästhetiken diese Formen eines mit Verzeitlichungsdynamiken einhergehenden Raumbezugs und der Raumnutzung hervorbringen, ist vorerst nur erahnbar. Vordergründig ist dies durch die optischen und akustischen Overlays und Signale charakterisiert, die insbesondere die im Raum befindlichen Objekte adressieren. Viel subtiler sind aber die ästhetischen Effekte der mit diesen Systemen wirkenden Orientierungsleistungen, der Akkumulation von Daten über Zeit und der möglichen Rückwirkung auf die Gestaltungs-, Planungs-, und Bewertungspraxen der Architektur selbst.

Mit diesen Systemen verkompliziert sich die Abhängigkeit der Architektur von Computern. Denn bei aller Kontingenz der SLAM-navigierten Räume sind solche Prozesse für die Betreiber von AR-Systemen eine doppelte Schnittstelle: 1. zu den individuellen Körpern und 2. zu den Räumen. Für die Nutzer werden die Räume, mit denen sie interagieren, durch die Plattformanbieter mit Services, Informationen und Overlays angereichert, zugleich entstehen auf diesem Wege zwar keine Kartographien der jeweiligen Innenräume, wohl aber Informationen über Nutzungsformen, Aufenthaltsdauern und Interessen der Kunden. Eine offene Frage ist dabei, ob die von den SLAM-Systemen generierten Karten und Objektgraphen auf den Endgeräten verbleiben, oder diese Daten teilweise oder ganz an die Plattformfirmen übertragen werden. Deren Geschäftsmodelle beruhen nicht zuletzt auf Graphennahmen²⁴, bei denen die aus vielen Geräten einlaufenden Daten wiederum in Graphen integriert werden, die Nutzerverhalten, Orte und Objekte und mit AR und Indoor-mapping auch Räume über Zeit in ihren Interaktionen kartographierbar machen. In die bislang vornehmlich von Architekten und Innenarchitekten bestimmte Bauästhetik wie auch in die sozialen Aspekte gebauter Umgebungen treten nun die Plattformanbieter als neue Akteure mit riesigen Kapitalreserven ein. Diese schaffen mit AR in den Baukörpern ihre eigenen Umgebungen, wobei die Unterscheidung zwischen öffentlichem und privatem Raum weiter erodiert wird. Das entspricht der von Dirk Baecker (2018) unlängst aufgestellten Behauptung, dass in der Digitalisierung die Grundunterscheidungen der Architektur wie Innen und Außen, Oben und Unten und Erreichbarkeit vs. Unerreichbarkeit im Schwinden begriffen sind. Inwieweit den Nutzern diese Erosion wahrnehmbar gemacht wird, bleibt abzuwarten. Für die Architektur und insbesondere die Frage nach dem Wohnen steht hier eine neuartige Dynamik an, die den Computer neben der Entwurfsarbeit auch als Interaktionsagenten beim Wohnen miteinberechnen muss. Architektur sieht sich möglicherweise Immersionsanforderungen und Immersionskonkurrenzen ausgesetzt, bei denen sie das Primat an der Umgebungschöpfung an andere Akteure abgeben muss. Aus der Perspektive der AR-Akteure besteht die Rolle der Architektur darin, die spontane und ad-hoc Lokalisation entweder möglichst nicht zu stören oder sogar zu stützen, indem

24 Engemann 2016/2020; Seemann 2021.

sie hilft, die Positionen von Objekten und Körpern zu vereindeutigen. Denn wie die Räume gestaltet und geplant werden, die in Zukunft die Körper situieren, beherbergen, bewirtschaften, unterhalten und deren Reproduktion erlauben, wird wahrscheinlich einem erheblichen Veränderungsdruck unterliegen. Für die Plattformanbieter ist das innere, das „indoor“, öffentlicher wie privater Baukörper in erster Linie eine neuartige Dimension ökonomischer Transaktionschancen.

Es gibt keine Räume mehr, in denen nicht Smartphones, Wearables und vernetzte Geräte der Plattformanbieter präsent sind. Die Folgen dieser Entwicklung für die Architektur, für die weitere Ausprägung von Entwurfssystemen sind kaum absehbar. Ein Einstieg von Google, Apple, Facebook, von Tencent, Alibaba oder Weibo in den CAD und BIM-Markt durch die Übernahme einzelner Softwareanbieter ist möglich, ebenso aber die Einrichtung von Schnittstellen zwischen AR-Geräten und Entwurfspaketen und BIM-Systemen wie auch Gremien- und Lobbyarbeit für Regularien für ein AR-gerechtes Bauen und Entwerfen. Die Planung und Gestaltung der Räume, die aus dem Computer kommen, würden dann durch die Räume, die mit SLAM-Verfahren mühsam in Computer gebracht wurden, informiert werden.

Autor

Christoph Engemann ist Post-Doc am Virtual Humanities Lab der Ruhr-Universität Bochum. Im Herbst 2020 war er Gastprofessor für Medienwissenschaft an der Zhejiang University in Hangzhou, China. Forschung und Lehre zur Digitalen Medien, Medientheorie und Mediengeschichte mit Schwerpunkt auf Medien der Staatlichkeit, Graphen, Künstliche Intelligenz und zu Transaktionssystemen. Forschungsaufenthalte unter anderem in Stanford, Bochum, Lüneburg und Austin/Texas. Letzte Veröffentlichungen „Pandemic Media: On the Governmediality of Corona Apps“, in: Melamed, Livi u. a. (Hrsg.): *Pandemic Media: Preliminary Notes Towards an Inventory* (Lüneburg: Meson Press) sowie der zusammen mit Andreas Sudmann herausgegebene Band „Maschine Learning - Medien, Infrastrukturen und Technologien der Künstlichen Intelligenz“ (Bielefeld: Transcript Verlag).

Quellen

Apple (2018): Understanding ARKit Tracking and Detection - WWDC 2018 - Videos, Apple Developer. <https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2018/610/> (Abfragedatum 05.05.2020).

Baecker, D. (2018): 4.0. Oder die Lücke, die der Rechner lässt. Leipzig.

Baudrillard, J. (1995): Simulacra and Simulation. Michigan.

Bratton, B. H. (2015): The Stack, On Software and Sovereignty. Cambridge, Massachusetts.

Cardoso-Llach, D. (2015): Builders of the Vision: Software and the Imagination of Design. London.

Cardoso-Llach, D. (2018): Tracing Design Ecologies. Collecting and Visualizing Ephemeral Data as a Method in Design and Technology Studies. In: Vertesi, J. and Ribes, D. (Hgg.): *Digital STS. A Field Guide for Science and Technology Studies*. Princeton.

- Carpo, M. (2017):* The Second Digital Turn. Design Beyond Intelligence. Boston, Massachusetts.
- Durrant-Whyte, H. and Bailey, T. (2006):* Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM): Part I The Essential Algorithms. In: IEEE Robotics & Automation Magazine, S. 99–108.
- Engemann, C. (2014):* Human Terrain System: Soziale Netzwerke und die Medien militärischer Anthropologie. In: Baxmann, I., Beyes, T., and Pias, C. (Hgg.): Soziale Massen - Neue Medien. Berlin - Zürich, S. 205–230.
- (2016): Digitale Identität nach Snowden. Grundordnungen zwischen deklarativer und relationaler Identität. In: Hornung, G. and Engemann, C. (Hgg.): Der digitale Bürger und seine Identität. Baden-Baden, S. 23–64.
- (2020): Gesellschaft der Graphen. Warum der Datenschutz mehr als das Individuum berücksichtigen muss. In: Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 12 April, S. 40.
- Euler, L. (2009):* Die Geburt der Graphentheorie: ausgewählte Schriften von der Topologie zum Sudoku. Berlin.
- Freemann, L. C. (2004):* The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science. Vancouver.
- Gillespie, T. (2010):* The politics of “platforms”. In: New Media & Society. SAGE Publications, 12(3), S. 347–364.
- Gleiter, J. H. (2018):* Traditionelle Theorie. 1863 bis 1938: Architekturtheorie. Grundlagen I. Berlin.
- Google (2019):* ARCore overview, Google Developers. Available at: <https://developers.google.com/ar/discover> (Abfragedatum 05.05. 2020).
- Kanderske, M. and Thielmann, T. (2019):* Simultaneous localization and mapping and the situativeness of a new generation of geomedia technologies. In: Communication and the Public, 4(2), S. 118–132.
- Kasprowicz, D. (2020):* Der Körper auf Tauchstation: Zu einer Wissensgeschichte der Immersion. Baden-Baden.
- Kittler, F. (2012):* Stuttgarter Rede über Architektur. In: Zeitschrift für Medien und Kulturforschung, (1), S. 97–104.
- Lu, F. and Milios, E. (1997):* Globally Consistent Range Scan Alignment for Environment Mapping. In: Autonomous Robots, 4(4), pp. 333–349.
- Microsoft (2019):* Erlernen von Tools und Architektur - Mixed Reality. Available at: <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/development> (Abfragedatum 05.05. 2020).
- Saker, M. and Frith, J. (2020):* Coextensive space: virtual reality and the developing relationship between the body, the digital and physical space. In: Media, Culture & Society, S. 1–20.
- Seemann, M. (2021):* Die Macht der Plattformen – Politik in Zeiten der Internetgiganten. Berlin.
- Smith, R. C. and Cheeseman, P. (1986):* On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty. In: The International Journal of Robotics Research. SAGE Publications Ltd STM, 5(4), S. 56–68.
- Sprenger, F. (2019):* Epistemologien des Umgebens Zur Geschichte, Ökologie und Biopolitik künstlicher environments. Bielefeld.
- (2020): Learning by Crashing: Unfälle autonomer Autos. Merkur 853, S. 44–55.

Straube, T. (2016): Stacked spaces: Mapping digital infrastructures, Big Data & Society. SAGE Publications Ltd, 3(2), p. 1–121.

Sutherland, I. E. (1965): The ultimate Display. Cambridge, Mass.

Thrun, S. et al. (2006): Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. In: Journal of Field Robotics, 23(9), S. 661–692.

Thrun, S. and Montemerlo, M. (2016): The Graph SLAM Algorithm with Applications to Large-Scale Mapping of Urban Structures. In: The International Journal of Robotics Research. SAGE Publications, 25(5–6), S. 403–429.

Veale, M. u. a. (2020): „Joint Statement on Contact Tracing: Date 19th April 2020“. <https://giuper.github.io/jointstatement.pdf> (Abfragedatum 01.03.2020).

Virilio, P. (1996): Fluchtgeschwindigkeit. München.

Abbildungen

Abb. 1 Ikea AR-App, via <https://newsroom.inter.ikea.com/sitesearch/AR>

Abb. 2 Microsoft HoloLens Demo durch Leitwert, Youtube Screenshot vom Autor: https://www.youtube.com/watch?v=Bex_g1cFGcY

Abb. 3 Marion Maerz; Michelle Stoppa: Understanding ARKit Tracking and Detection. Apple WWDC2018, S. 63.

Abb. 4 Marion Maerz; Michelle Stoppa: Understanding ARKit Tracking and Detection. Apple WWDC2018, S. 64.

Abb. 5 Marion Maerz; Michelle Stoppa: Understanding ARKit Tracking and Detection. Apple WWDC2018, S. 19.

Zitiervorschlag

Christoph Engemann

Raum im Raum – Architektur und Augmented Reality.

In: Wolkenkuckucksheim | Cloud-Cuckoo-Land | Воздушный замок,
International Journal of Architectural Theory (ISSN 1430-0984), vol. 25, no. 40,
Media Practices of Architectural Design, 2021, pp. 57–73.