

# Zugang zum öffentlichen Raum – Vermessungen mit Multikoptern unterstützen mittels digitalem Abbild

Measurements with UAS support access to public space with digital images

*M. Eng. Robin Stöber<sup>1</sup>  
B. Sc. Can Sönmez<sup>1</sup>  
M. Sc. Hendrik Kumpe<sup>1</sup>  
Dr.-Ing. Christian Böning<sup>1</sup>  
Dr.-Ing. Malte Stonis<sup>1</sup>  
Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer<sup>2</sup>*

*IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH<sup>1</sup>*

*Leibniz Universität Hannover, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik<sup>2</sup>*

**D**ie digitale Erschließung von Räumen innerhalb der Stadt Hannover mittels digitalem Abbild ermöglicht es, Nutzungsbedarfe dieser Räume bedarfsgerechter und effizienter zu decken. Die Erstellung eines digitalen Abbilds, welches neue Möglichkeiten für den Zugang zum öffentlichen Raum erschließt, erfordert den Einsatz verschiedener Sensorik wie beispielsweise LiDAR-Sensoren und Tracking-Kameras zur 3D-Vermessung. Zur Auswahl geeigneter und mittels Multikopter einsetzbarer Sensoren, werden zunächst Anforderungen an das Gesamtsystem definiert, welche in Funktionsanforderungen für die Sensorik abgeleitet werden. Anschließend wird der Erfüllungsgrad der Funktionsanforderungen durch die unterschiedlichen Sensoren zunächst simulativ und anschließend praktisch ermittelt.

*[Schlüsselwörter: UAS, Multikopter, digitales Abbild, Digitaler Zwilling, 5G]*

**T**he digital development of spaces within the city of Hannover by means of a digital image makes it possible to cover the usage needs of spaces more efficiently and in line with the requirements. The creation of a digital image, which develops new possibilities for access to public space, requires the use of different sensors such as LiDAR sensors and tracking cameras. In order to select suitable sensors that can be used with UAS, the requirements for the overall system are first defined, which are derived in functional requirements for the sensor technology. Subsequently, the degree of fulfilment of the functional requirements by the different sensors is determined first simulatively and then practically.

*[Keywords: UAS, Copter, digital image, digital twin, 5G]*

## 1 EINLEITUNG

Die Erstellung eines dynamischen digitalen Abbilds der Realität ermöglicht neue Möglichkeiten der Nutzung des öffentlichen Raums und ist ein Bestandteil des Gesamtforschungsvorhabens 5GAPS. Das hierfür erzeugte 3D-Computermodell bildet die Realität in Echtzeit ab. Die Grundlage für diesen sogenannten Digitalen Zwilling des öffentlichen Raums ist eine initiale 3D-Vermessung mittels spezieller Sensorik, die Erstellung eines Computermodells und die stetige Echtzeit-Datenaktualisierung mit dem Mobilfunkstandard 5G. Der neue Mobilfunkstandard 5G zeichnet sich gegenüber seinen Vorgängern durch höhere Datenraten und Übertragungsgeschwindigkeiten sowie sinkende Kosten aus. Weitergehend ermöglicht der neue Mobilfunkstandard die Kommunikation von Geräten in Echtzeit. Die Einführung dieser Technologie ist somit die Grundlage für Anwendungen im Bereich von Smart Cities, des autonomen Fahrens oder der Mixed-Reality, die im Rahmen der Forschungen von 5GAPS ermöglicht werden sollen [1]. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Auswahl der Sensorik diskutiert sowie erste Ergebnisse bei der Erstellung des digitalen Abbilds des öffentlichen Raums auf Grundlage einer Simulation präsentiert. Hierbei werden zum einen verschiedene Möglichkeiten zur 3D-Vermessungen sowie weitere Forschungsschwerpunkte in diesem Bereich aufgezeigt.

Dieser Beitrag gliedert sich in eine Vorstellung der Grundlagen zur Erstellung eines Digitalen Zwillings mit Hilfe von Multikoptern, einer Beschreibung der eingesetzten Methoden mit einer Präsentation der ersten Ergebnisse sowie einer Vorstellung der Weiterentwicklungsmöglichkeiten und einem Ausblick.

## 2 GRUNDLAGEN

Grundlage für die Erstellung eines Digitalen Zwillings mithilfe von Multikoptern ist ein systematisches Überfliegen der abzubildenden Fläche. Die eingesetzten Multikopter müssen hierbei mit Sensoren ausgestattet sein. Daher wird im folgenden Abschnitt zunächst der Aufbau eines Multikopters sowie anschließend die verwendete Sensorik erläutert.

### 2.1 MULTIKOPTER

Multikopter sind Luftfahrzeuge, die Rotoren zum Auf- und Vortrieb nutzen. Die Stabilisierung des Flugverhaltens wird im Gegensatz zu Hubschraubern mit einem Heckrotor durch gegenläufige Bewegungen der einzelnen Rotoren erzielt. Unterschieden werden Multikopter beispielsweise durch die Anzahl ihrer Rotoren. Quadrocopter mit vier Rotoren, Hexacopter mit sechs Rotoren und Octocopter mit acht Rotoren sind die am häufigsten verwendeten Varianten. Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von Multikoptern ist die Klassifizierung anhand des MTOW (maximale Startgewicht von Luftfahrzeugen). Diese Klassifizierung basiert auf der erwarteten kinetischen Energie, welche beim Absturz wirken kann. Die kinetische Energie wird hierbei als primärer Faktor für die Sicherheit des Flugbetriebs betrachtet. Ein weiterer Faktor bei dieser Berechnung ist die maximale Flughöhe. Der in Abbildung 1 dargestellte Multikopter ist mit einem Gewicht unter 5 kg und einer Reichweite von 10 km in der Gruppe Micro einzuordnen [2].

Der Einsatz von Multikoptern zur Erstellung eines Digitalen Zwillings ist durch verschiedene Vorteile gegenüber bodengebundenen Verfahren begründet. Essenziell sind hierbei die Flexibilität und Perspektivenvielfalt der Sensorenmessungen, die sich dadurch begründen, dass Multikopter sich im dreidimensionalen Raum bewegen können. Weitergehend ist es möglich Multikopter remote von jedem Ort aus zu steuern und bei einer ausreichenden Datenbasis wird auch der autonome Einsatz ermöglicht [2].

Die folgende Abbildung 1 zeigt eine DJI Phantom 4 mit zwei zusätzlich befestigten GOPRO Hero 8 Black Actionkameras. Die zusätzlichen Kameras wurden zur Minimierung der Flugzeit und zur Variation des Aufnahmewinkels montiert. Weitergehend ist der manuelle Flug durch die explizite Nutzung der multikoptereigenen Kamera zur Unterstützung der Steuerung einfacher und sicherer durchzuführen.



Abbildung 1 -Multikopter mit zusätzlichen Kameras

### 2.2 SENSORIK

Zur Umgebungserfassung durch Multikopter werden beispielsweise LiDAR-Sensoren genutzt. LiDAR steht für „Light Detection and Ranging“ und ist eine Methode zur dreidimensionalen Umgebungserfassung. Für echtzeitbasierte Use-Cases sind insbesondere mobile LiDAR-Sensoren geeignet, da diese in der Lage sind hochauflösende dreidimensionale Punktwolken ad hoc in der Bewegung zu erstellen.

Neben der Umgebungserfassung mittels LiDAR-Sensoren werden auch unterschiedliche Kameraarten zur Erstellung des digitalen geometrischen 3D-Modells erprobt. Neben dem Einsatz von günstigen handelsüblichen Kameras wird auch der mögliche Einsatz von Tracking-Kameras untersucht. Diese Kameras haben bereits ein inertiale Messeinheit (IMU) integriert. Diese ermöglicht beispielsweise durch Beschleunigungssensoren die Orientierung im Raum und somit auch die Erfassung der Kameraposition. Ohne die Nutzung einer IMU übernimmt eine Software die Berechnung der Kameraposition im 3D-Raum (siehe Kapitel 3.2.2).

## 3 EINGESETZTE METHODEN

Methodisch wird das Forschungsvorhaben durch den Einsatz einer allgemeinen Anforderungsanalyse für das Gesamtsystem, einer Anforderungsanalyse zur Auswahl der Sensorik sowie durch verschiedene Simulationsarten unterstützt.

### 3.1 ANFORDERUNGSANALYSE

Die Anforderungsanalyse wird zur Ermittlung der einzelnen Anforderungen an das Forschungsvorhaben eingesetzt. Hierbei kann zwischen allgemeinen Anforderungen wie der Möglichkeit zur Nutzung von Smart City Anwendungen und Anforderungen an die zu erstellenden Daten unterschieden werden. Letztere beeinflussen signifikant die Auswahl der Sensorik und basieren auf den Funktionsanforderungen sowie auf der technischen Kompatibilität. Bei

diesem Vorgehen werden zunächst strukturelle Datenanforderungen wie beispielsweise die Möglichkeit zur Kartenaktualisierung oder die Geolokalisierung erarbeitet. Diese bilden die Grundlage zur differenzierten Anforderungsanalyse zur Auswahl der Sensorik, bei der beispielsweise Datenformate spezifiziert und Schnittstellen konzipiert werden. Ziel der Auswahl der Sensorik ist es, eine für unterschiedliche Use-Cases geeignete Datenqualität in einer nutzbaren Datenmenge bereitzustellen [3].

### 3.2 SIMULATION

„Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell...“ [4]

Ziel der Simulation der Vermessung ist es, Techniken und Methoden zur Erfassung der Daten, ihre Analyse und Zusammenführung zu entwickeln, bewerten und Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Mit Hilfe der Simulation sollen die Erfassungsprozesse sowohl im Indoor- als auch im Outdoorbereich vor der praktischen Umsetzung getestet werden. Durch dieses Vorgehen können beispielsweise verschiedene Kameras sowie LiDAR-Sensor-Systeme kostengünstig auf ihre Eignung zur geometrische 3D-Vermessung geprüft werden. Weitergehend wird im Rahmen der Simulation die Zusammenführung von bodengebundener Sensorik (auf einem FTS montiert) und der durch ein unbemanntes Luftfahrtsystem (UAS) eingesetzten Sensorik getestet und optimiert.

Zur Entwicklung der Simulationsumgebung wird das Open-Source Framework Robot Operating System (ROS) verwendet. Dieses System beinhaltet diverse Simulationsbausteine, welche den Implementierungsaufwand signifikant reduzieren. Die simulative Durchführung der 3D-Vermessung wird mit Hilfe von AirSim der Firma Microsoft umgesetzt. AirSim ist ein Simulator für Multikopter und bodengebundene Fahrzeuge und basiert auf der Unreal Engine von Epic-Games. Essenziell für die Auswahl der Sensorik ist die visuell realistische Simulation, welche unter anderem für die KI-Forschung entwickelt wurde. Diese ermöglicht eine präzise Simulation der erfassbaren Sensordaten.

In der folgenden Abbildung 2 ist ein simulierter Multikopterflug in einer Testumgebung dargestellt. An diesem unbemannten Luftfahrtsystem sind zwei Kameras und ein LiDAR-Sensor montiert. In dem Hauptfenster ist der Flug aus der sogenannten „Dritte-Person-Perspektive“ visualisiert. Bei dieser Art der Darstellung sind die Nutzer:innen in der Lage sowohl die simulierte Umgebung als auch das Flugverhalten des Multikopters zu betrachten. Weitergehend sind die durch den LiDAR-Sensor erfassten Datenpunkte durch grüne Punkte live in der Umgebung visualisiert. Die Sensordatenpunkte können zur Steigerung der Übersichtlichkeit zudem in dem Fenster am unteren linken Bildrand erkannt werden. Dieses Fenster zeigt das Sichtfeld der an der Front der Drohne montierten Kamera. Das

Fenster am rechten unteren Bildrand bildet mit dem Sichtfeld der am Heck der Drohne montierten Kamera das Pendant hierzu.



Abbildung 2 - Simulierter Drohnenflug

Zur initialen Erprobung der Simulation und der verschiedenen Sensoren wurde zunächst eine Testumgebung mit verschiedenen Formen und Texturen modelliert (Abbildung 3). Durch die Variation der Umgebung konnten erste Ergebnisse zur Datenaufnahme erzielt werden. Die Datenqualität wurde durch schwer zu erfassenden Formen wie beispielsweise unterschiedliche Ebenen auf dem treppenartigen Objekt oder vom Sensor nicht sichtbare Kanten in das Modell negativ beeinflusst.

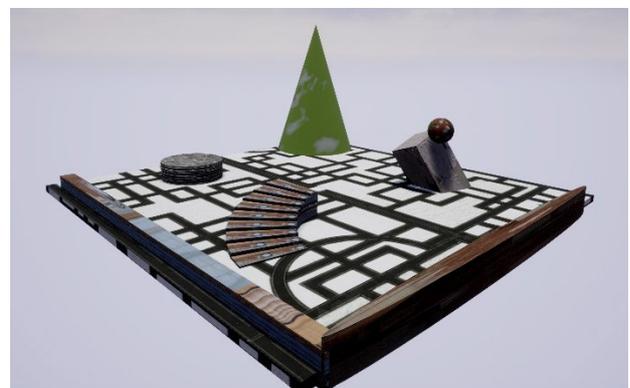


Abbildung 3 - Simulierte 3D-Umgebung

#### 3.2.1 LIDAR

Bei der Datenerfassung mit Hilfe von LiDAR-Sensoren wird Licht in Form eines gepulsten Lasers zur Erzeugung präziser dreidimensionaler Informationen eingesetzt. In der Simulation werden zur Nachbildung realer Systeme verschiedene Parameter wie beispielsweise der Abtastwinkel, die Anzahl der Abtastkanäle und die Winkelauflösung variiert. In der folgenden Abbildung 4 sind die aufgenommenen LiDAR-Daten einer Situationsaufnahme der simulierten 3D-Umgebung dargestellt. Hierbei wurde die gleiche Drohnenposition wie bei der Erstellung der Abbildung 3 verwendet. Zur Verbesserung der Visualisierung und zur

Verdeutlichung der Schwachstellen wurden die Daten über einen Zeitraum von 5 Sekunden an einer fixierten Position aufgenommen. Der Abtastwinkel betrug  $45^\circ$  wodurch der obere Rand des Kegels nicht mehr aufgenommen wurde. Durch eine leichte Erhöhung der Visualisierungsposition können sogenannte Schatten hinter den aufgenommenen Objekten dargestellt werden. Gut zu identifizieren ist ein Schatten hinter dem bereits in Abbildung 3 dargestellten treppenartigen Objekt. Dieser Bereich konnte von der Position der Aufnahme nicht geometrisch vermessen werden. Eine weitere Herausforderung bei Nutzung von LiDAR-Sensoren ist die Variation der Auflösung durch die unterschiedlichen Abstände der aufgenommenen Objekte zum Sensor.

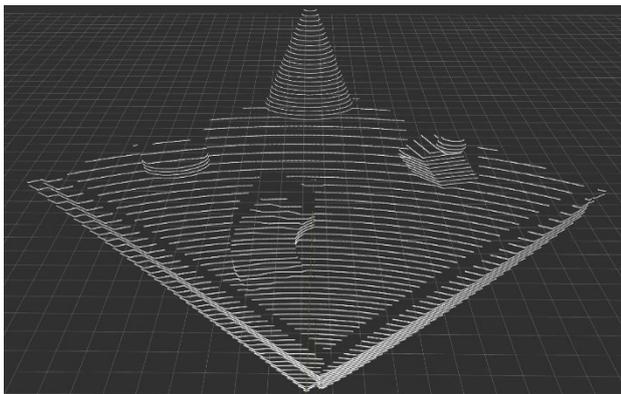


Abbildung 4 – LiDAR-Daten

Die während des gesamten simulierten Multikopterflugs aufgenommenen LiDAR-Daten können durch eine Kombination der exakten Lokalisierung während der Aufnahme zu einem Gesamt-Modell weiterverarbeitet werden. Die Lokalisierung der Aufnahmeposition kann beispielsweise über eine IMU oder das 5G Mobilfunknetz erfolgen.

### 3.2.2 PHOTOGRAMMETRIE

Die Photogrammetrie ist ein auf Bildaufnahmen basierendes Verfahren zur Erstellung einer dreidimensionalen texturierten Punktwolke. Durch Aufnahmen aus verschiedenen Winkel und Perspektiven ermöglicht eine computer-gestützte Bildinterpretation die Modellierung eines dreidimensionalen Abbilds. Vorteil gegenüber anderen Verfahren ist die direkte Hinterlegung einer Textur, welche den Wiedererkennungswert für Menschen steigert und die Möglichkeit der Nutzung handelsüblicher Kameras ohne zusätzliches Equipment [5].

In der Abbildung 5 kann anhand der als blaue Rechtecke hinterlegten Kamerapositionen die simulierte Flugroute des Multikopters durch die Testumgebung nachvollzogen werden. Hierbei wurden 68 Bildaufnahmen mit einer Auflösung von  $3840 \times 2160$  Pixeln unter einem Kameraneigungswinkel von  $10^\circ$  erstellt.

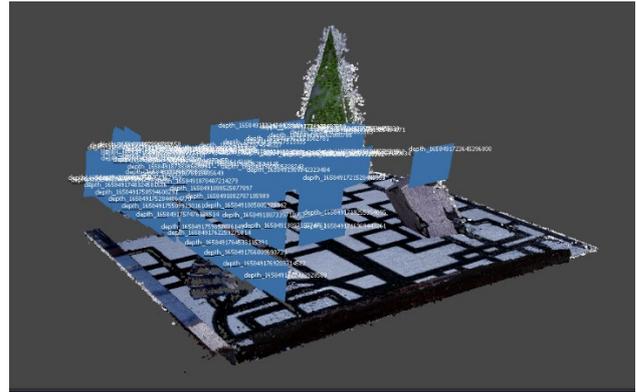


Abbildung 5 - Darstellung der Flugroute anhand der Kamerapositionen

Aus den erstellten Bildaufnahmen in Kombination mit den durch die Photogrammetriesoftware Metashape der Firma Agisoft errechneten Kamerapositionen wird anschließend eine dichte Punktwolke (Abbildung 6) erstellt. Dieses Verfahren zur 3D-Modellerstellung aus Bildaufnahmen wird im Outdoorbereich bereits in diversen Anwendungsfällen genutzt. Im Indoorbereich gibt es jedoch nur wenige Anwendungen. Exemplarisch ist der Einsatz in der dreidimensionalen Fabrikplanung. Dieses Vorgehen wird in der vierten Phase des Fabrikplanungsprozesses, der Detailplanung, als Werkzeug der digitalen Anlagenplanung eingesetzt [4] [5] [6] [7].

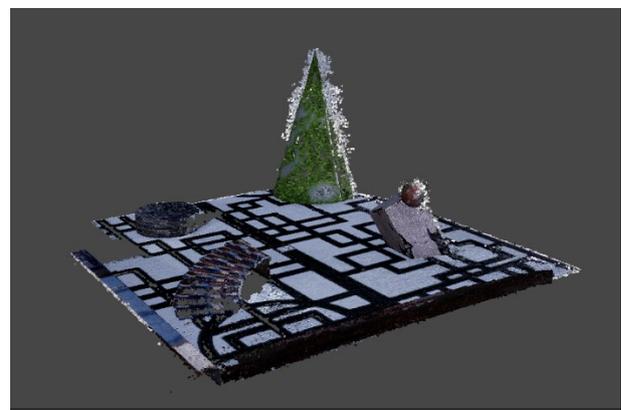


Abbildung 6 - Dichte Punktwolke

Die in Abbildung 6 visualisierte dichte Punktwolke wurde in weniger als einer Stunde durch die Software berechnet und besteht aus ca. 6,7 Mio. texturierten Punkten. Gegenüber der in Abbildung 4 dargestellten LiDAR-Daten ist die Wiedererkennung für den Menschen signifikant gesteigert, was insbesondere für die spätere Nutzung für Anwendungen mit menschlicher Interaktion wie beispielsweise Mixed-Reality vorteilhaft ist.

Die Schwachstellen der Photogrammetrie sind beispielsweise durch das Fehlen einzelner Objektbestandteile wie der Seitenwand des treppenartigen Objekts erkennbar. Zudem wurde ein Teil der Grundplatte nicht dargestellt und der Umgebungshintergrund wurde nicht korrekt vom

Kegel getrennt. Mögliche Ursache hierfür können fehlende Kontraste, zu wenige Bildaufnahmen oder zu wenig Varianz in den Perspektiven der Bildaufnahmen sein. Diese Einflussfaktoren sind Gegenstand weiterer Tests.

Die Abbildung 7 zeigt das aus der dichten Punktwolke erstellte 3D-Modell mit Textur. Hierfür wurde zunächst digital ein sogenanntes Mesh (Netz) über die Punkte gelegt, welches anschließend texturiert wurde. Das so entstandene Modell ist durch die Zusammenführung mehrerer Punkt zu einer Netzfläche geometrisch geringfügig ungenauer gegenüber der dichten Punktwolke. Jedoch ergibt sich bei diesem Bearbeitungsschritt die Möglichkeit kleinere Löcher wie das bereits beschriebenen fehlende Seitenteil des treppenartigen Objekts aufzufüllen und somit eine Steigerung der für den Menschen nutzbaren Visualisierungsqualität zu erreichen. Vorteilhaft gegenüber anderen geometrischen Messverfahren ist die geringere Dateigröße der Photogrammetriemodelle. Das abgebildete 3D-Modell benötigt mit der dargestellten Abbildungsgenauigkeit eine Dateigröße von ca. 160 Megabyte, wodurch eine weitere Nutzung ohne weitere Datenreduzierung ermöglicht wird.

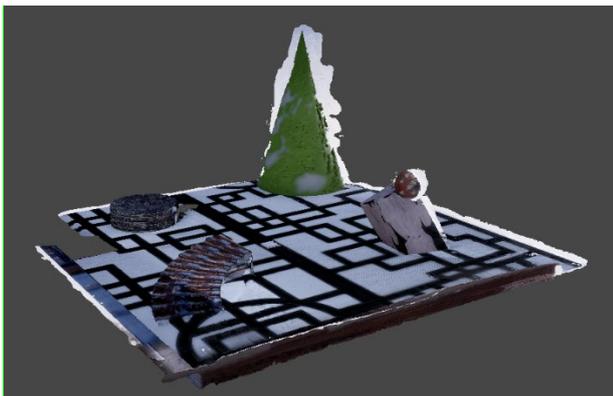


Abbildung 7 - 3D-Modell mit Textur

#### 4 WEITERENTWICKLUNG UND AUSBLICK

Nach der initialen Auswahl der Sensorik durch die Simulation wird diese mit Hilfe von statischen und dynamischen Vermessungen in einer Indoorumgebung erprobt. Zusätzlich zu dem Multikopter kommt hierbei auch ein fahrerloses Transportfahrzeug (FTS) zum Einsatz, wobei die Kompatibilität mit den bodengebundenen Verfahren geprüft wird. Insbesondere die Kombination der bereits vorgestellten Methoden zur geometrische 3D-Vermessung stellt hierbei einen Forschungsschwerpunkt dar.

Die Steuerung des Multikopters wird zunächst manuell übernommen. Damit im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens beispielsweise eine automatisierte geometrische Datenaufnahme ausgeführt werden kann, wird bereits bei der Simulation die Software AirSim eingesetzt. AirSim ist eine plattformübergreifende Software, die auch die Integration von Open-Source Flugcontrollern wie PX4-Autopilot oder ArduPilot, welche in Kombination mit der

Steuerungssoftware Mavros zur automatisierten Steuerung genutzt werden können, unterstützt und somit die Anforderung zur Ermöglichung eines autonomen Multikopterflugs erfüllt [8].

Die zuvor beschriebene Erstellung eines digitalen, dreidimensionalen Abbilds ermöglicht durch die Digitalisierung den Zugang zum öffentlichen Raum. Hierfür wird im Gesamtforschungsvorhaben zunächst der öffentliche Raum erfasst und in ein 3D-Computermodell überführt. Dabei wird ein skalierbares, global definiertes Koordinatensystem, welches sowohl Raum-, Zeit- als auch Zustandsinformationen erfasst, erstellt. Auf der Grundlage dieses Modells können räumliche Würfel (Cubelets) erstellt, in (nahezu) beliebiger Feinheit skaliert und systematisch mittels ID's adressiert werden. Das Ziel des Gesamtforschungsvorhabens ist ein hochpräzises dreidimensionales Positionierungssystem, dessen diskrete virtuelle Würfel jederzeit beliebige, noch zu bestimmende Eigenschaften annehmen können (Smart Cubelets). Die Würfeigenschaften unterliegen dabei dynamischen Änderungen, die im Zeitablauf in Echtzeit erfasst und verarbeitet werden. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, konkurrierende Nutzungsbedarfe von verschiedenen Zielgruppen zu koordinieren und Nutzungskonflikte zu vermeiden.

Ein Teilziel des Gesamtforschungsvorhabens ist es, einen Digitalen Zwilling – ein dynamisches digitales Abbild der Realität – zu erzeugen. Zur Realisierung dieses Vorhabens ist das 5G Open Cubelet Attribution and Positioning System (5G OCAPS) ein zentraler Bestandteil. 5G OCAPS ist eine Plattform für dynamische multiattributelle Raumerfassung und mehrdimensionale Objektpositionierung in Echtzeit. Die Plattform dient dabei als Senke für die Positions- und Eigenschaftsdaten der Cubelets, die hier verwaltet, verarbeitet und für den Austausch bereitgestellt werden.

##### 4.1 NAVIGATION IN DER DRITTEN DIMENSION

Durch die dreidimensionale Kartierung der Welt ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zu denen u.a. effizientere Raum- und Flächennutzungen sowie erweiterte Navigation von Maschinen und Menschen zählen. Letzteres umfasst insbesondere Multikopter, die sich, anders als bodengebundenen Fahrzeuge, im dreidimensionalen Raum bewegen. Bei einer vollständigen Erfassung der Umgebung mittels 5G OCAPS wird es den Multikoptern ermöglicht autonom zu fliegen, da durch die Vielzahl stetig aktualisierter Daten ein Abbild der Umgebung in Echtzeit zur Verfügung steht. Dadurch sind Multikopter in der Lage, autonom zu navigieren, Kollisionen mit anderen Luftfahrtteilnehmer zu vermeiden und dynamisch entstehenden Hindernissen auszuweichen. Zusätzlich zur Navigation unter freiem Himmel, wird aufgrund der 5G-Technologie die Navigation innerhalb von Gebäuden ermöglicht, in denen i.d.R. kein GNSS-Empfang zur Verfügung steht. Weitere Anwendungsmöglichkeiten zur mehrdimensionalen

Navigation ist bei der Einsatzplanung und -koordination von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) anzusetzen. BOS-Kräften kann mittels 5G OCAPS-Daten eine hochgenaue Positionsbestimmung und Routing ermöglicht werden. Insbesondere in Innenräumen mit eingeschränkten Sichtverhältnissen oder mehrstöckigen Gebäuden kann diese 5G gestützte Navigation einen Vorteil bieten.

#### 4.2 ADAPTIVE RAUM- UND FLÄCHENNUTZUNG

Der öffentliche Raum ist eine begrenzte Ressource, die durch verschiedene Zielgruppen mit unterschiedlichen Bedarfen in Anspruch genommen wird. Zur Koordination dieser Ansprüche sowie einer effizienteren und effektiveren Nutzung können die echtzeitbasierten Positions- und Navigationsdaten des 5G OCAPS beitragen, indem entsprechende Informationen, Dienste und Rechte bereitgestellt werden. Verdeutlicht werden kann dieses Vorhaben anhand folgender Beispiele: Bei dem Aufbau von Produktionsanlagen in Produktionshallen sowie dem Aufbau von Messeständen in Messehallen können die 5G OCAPS-Daten einen wesentlichen Vorteil bieten. Grundvoraussetzung ist eine 5G Abdeckung und Hallenlayouterfassung (bspw. durch LiDAR-Sensorik) sowie stetige Datenergänzung und -aktualisierung mittels Sensorik an Flurförderfahrzeugen und Multikoptern. Die Vielzahl der erfassten Daten ermöglicht eine präzise Positionsanalyse von Objekten sowie schnelle Analyse- und Vergleichsmöglichkeiten von Layoutanordnungen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten im Kontext der Raum- und Flächennutzungen sind im Zuständigkeitsbereich von Kommunen und bei der Einsatzkoordination von BOS-Kräften anvisiert.

#### 4.3 MIXED REALITY

Der Begriff *Mixed Reality* (MR) sowie das dahinterstehende Konzept sind relativ neu. Im Gegensatz dazu sind die dazugehörigen Elemente länger bekannt. Dazu zählt zum einen die *Virtual Reality* (VR) und zum anderen die *Augmented Reality* (AR). Die MR versteht sich hierbei als Übergang zwischen der VR und AR, der das Spektrum zwischen diesen entgegengesetzten Polen umfasst [9] [10]. An den entgegengesetzten Enden dieses Spektrums, auf das sich die MR bezieht, befinden sich die physische, reale Welt sowie die vollständig digitale Welt [9]. Das Konzept der AR wird auf die physische Welt angewendet, indem digitale Inhalte in Echtzeit in den Wahrnehmungsbereich des AR-Nutzenden eingeblendet werden. Unter Zuhilfenahme von holografischen, AR-fähigen Geräten wie Smartphones, Tablets oder spezieller Brillen können die Nutzer:innen diese digitalen Inhalte wahrnehmen. In diesem Zusammenhang dient das Spiel Pokémon GO als bekanntes Beispiel für AR-Technologie [9] [10]. Das Konzept der VR hingegen ist der digitalen Welt zuzuordnen. Mittels spezieller VR-Brillen wird den Anwender:innen ein Einblick in die vollständig digitale Welt ermöglicht. Hierbei wird eine vollständige Immersion in die computererstellte, digitale

Umwelt angestrebt. Das Ziel dieser Technologie ist es, die Wahrnehmung der physischen Realität des Nutzenden durch eine digitale, virtuelle Welt zu ersetzen [10]. Die MR umfasst die Abstufungen zwischen der AR und der VR. Bei der MR wird gleichzeitig die reale, physische Welt und eingeblendete virtuelle Objekte wahrgenommen. Zur reinen AR lässt sich die MR abgrenzen, da Tiefe und Perspektive der digital ergänzten Objekte wahrgenommen werden können [9] [10].

Auf der Grundlage eines Digitalen Zwillings lassen sich MR-Anwendungen entwickeln, die die Wahrnehmung der Realität erweitern können. Dabei soll die Darstellung komplexer, virtueller und georeferenzierter Zusatzinformationen in Verbindung mit Realbildern ermöglicht werden. Zu sehen ist dieses Prinzip beispielhaft in Abbildung 8 durch eine Projektion eines Dinosauriers. Dadurch ergibt sich eine Spannweite an möglichen Anwendungen. Fassaden und öffentlich Plätze können virtuelle Werbe- oder Informationsinhalte sowie virtuelle Objekte als Teil einer Ausstellung oder als Visualisierung von Stadtentwicklungsprojekten beinhalten. Temporäre Verkehrszeichen können virtuell eingeblendet werden und könnten dadurch physische Schilder ersetzen. Entwickler:innen können diese vielseitigen MR-Anwendungen dann kommerziell oder unentgeltlich zur Verfügung stellen.



Abbildung 8 - Mixed Reality Projektion

## LITERATUR

- [1] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Was versteht man unter '5G'? Zuletzt abgerufen am 06.07.2022 unter: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Technologien\\_sicher\\_gestalten/5G/5g-was-versteht-man-darunter.html?nn=128684](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Technologien_sicher_gestalten/5G/5g-was-versteht-man-darunter.html?nn=128684)
- [2] K. P. Valavanis, G.J. Vachtsevanos, Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springer Science Dordrecht, 2015
- [3] O. Gassmann, J. Böhm, M. Palmié, Smart City: Innovationen für die vernetzte Stadt - Geschäftsmodelle und Management. Hanser, München, 2018
- [4] Verein Deutscher Ingenieure, VDI3633 Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb, Band 1
- [5] D. Melcher, B. Küster, M. Stonis und L. Overmeyer, Dreidimensionale Fabrikplanung durch Drohneneinsatz. In ZWF – Zeitschrift für wissenschaftlichen Fabrikbetrieb, 113 Jg. München, 2018
- [6] Verein Deutscher Ingenieure, VDI4499 Digitale Fabrik, Grundlagen. VDI Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Band 8
- [7] Verein Deutscher Ingenieure, VDI5200 Fabrikplanung, Planungsvorgehen. VDI Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Band 1
- [8] A. Seel, F. Kreuzjans, B. Küster, M. Stonis und L. Overmeyer, Deep Reinforcement Learning Based UAV for Indoor Navigation and Exploration in Unknown Environments. International Conference of Control, Automation and Robotic (ICCAR), 10. April 2022, Xiamen, China, 2022
- [9] Microsoft, Was ist Mixed Reality? Zuletzt abgerufen am 06.07.2022 unter: <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>
- [10] T. Brigham, Reality Check: Basics of Augmented, Virtual, and Mixed Reality. Medical Reference Services Quarterly, 2017.

---

**Robin Stöber, M. Eng.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Robin Stöber (\*1991) studierte an der Fachhochschule Bielefeld und der Hochschule Hannover Maschinenbau. Seit Juni 2018 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich der Logistik tätig.

Adresse: Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Germany, Telefon: +49 51127976444, Fax: +49 51127976888, E-Mail: [stoeber@iph-hannover.de](mailto:stoeber@iph-hannover.de)

**Can Sönmez, B. Sc.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Can Sönmez (\*1994) studiert an der Leibniz Universität Maschinenbau. Seit Februar 2019 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als wissenschaftliche Hilfskraft im Bereich der Logistik tätig.

**Hendrik Kumpe, M. Sc.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Hendrik Kumpe (\*1997) studierte an der Fachhochschule Bielefeld und der Leibniz Universität Hannover Elektro- und Informationstechnik. Seit Juni 2022 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich der Produktionsautomatisierung tätig.

**Dr.-Ing Christian Böning.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Christian Böning (\*1984) studierte an der Leibniz Universität Hannover Wirtschaftsingenieurwesen mit den Schwerpunkten Produktionswirtschaft und Produktionstechnik. Seit 2011 ist er am IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich Logistik tätig. In Forschungs- und Beratungsprojekten setzt er sich mit den Themen energiekostenorientierte Belegungsplanung und Fabrikplanung auseinander. Seit August 2013 ist er Abteilungsleiter der Logistik.

**Dr.-Ing. Malte Stonis.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Dr.-Ing. Malte Stonis (\*1979) studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover mit den Schwerpunkten Fahrzeugsysteme und Biomedizintechnik. Am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist er seit 2006 tätig, zunächst als Projektingenieur im Bereich Prozesstechnik sowie ab 2008 als Abteilungsleiter. 2011 promovierte er zum Thema "Mehrdirektionales Schmieden von flachen Aluminiumlangteilen". Seit September 2016 ist Malte Stonis koordinierender Geschäftsführer des IPH.

**Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer.**, Institut für Integrierte Produktion Hannover, Leibniz Universität Hannover. Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer (\*1964) erwarb 1991 sein Diplom im Bereich Elektrotechnik an der Universität Hannover und promovierte im Jahr 1996. Im Anschluss arbeitete Herr Overmeyer in der Industrie bei der Mühlbauer AG, wo er 1998 Leiter der Forschung und

Entwicklung wurde. Seit 2002 ist er Professor an der Leibniz Universität Hannover und Direktor des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik. Im Jahr 2007 übernahm er die Leitung des Instituts für Integrierte Produktion Hannover.