

# Positionierung und Vermessung von Komponenten für Indoor-Lokalisierungs- und drahtlose Kommunikationssysteme in Industrieumgebungen

Florian Hufen, Timo Siekmann, Harry Fast, Holger Flatt, Sebastian Schriegel  
Fraunhofer IOSB, Institutsteil für industrielle Automation (IOSB-INA, Campusallee 1, 32657  
Lemgo  
{florian.hufen, timo.siekmann, harry.fast, holger.flatt, sebastian.schriegel}@iosb-ina.fraunhofer.de

**Abstract:** Der Beitrag beschäftigt sich mit der Positionierung und Vermessung von Komponenten für Indoor-Lokalisierungs- und drahtlose Kommunikationssysteme in Industrieumgebungen. Bisher wurden häufig Stativmontagen oder Flugdrohnen zur Positionsveränderung verwendet, die jedoch nicht immer flexibel einsetzbar sind und reproduzierbare Messungen erlauben. Daher wird ein neuartiges Konzept vorgestellt, welches ein mobiles Liftsystem zur automatisierten Positionierung der Komponenten im 3D-Raum nutzt. Das 3D-Liftsystem verfügt über einen horizontal sowie vertikal verfahrbaren Teleskoparm und bietet die Möglichkeit Langzeittests durchzuführen sowie Umgebungsveränderungen aufzuzeichnen. Das Konzept wurde als Fallstudie umgesetzt und im Kontext einer realen Industrieumgebung zur Vermessung von 5G-Komponenten angewendet. Ein Vergleich zu herkömmlichen Positionierungsmethoden anhand verschiedener Eigenschaften zeigt, dass das vorgeschlagene Konzept Eignungskriterien für umfangreiche, langwierige und unterbrechungsfreie Messkampagnen mit 79 % am höchsten erfüllt, während eine Umsetzung mit Stativen und Flugdrohnen nur 64 % bzw. 54 % erreichen.

## 1 Einleitung

Die Vermessung und Evaluation von Komponenten der Indoor-Lokalisierung und drahtlosen Kommunikation in Industrieumgebungen erfordert häufig eine flexible und reproduzierbare Positionierung des Testequipments in allen drei Dimensionen. So wird beispielsweise für den Betrieb von bestimmten 5G-Funknetzen eine maximale Feldstärke an der Grenze zu anderen benachbarten Funknetzen vorgeschrieben, welche in einer Höhe von 3 Metern über dem Boden gemessen wird [Euro20]. Bei der Entwicklung, Evaluierung und Zertifizierung von Indoor-Lokalisierungstechnologien wie z. B. Ultra Wide Band (UWB) oder Bluetooth Low Energy (BLE) werden ähnliche Messungen an verschiedenen Positionen im 3D-Raum durchgeführt [BBTM21]. Diese häufig wechselnden Messpositionen werden heute über eine Montage an Stativen [BBTM21] oder mithilfe ferngesteuerter Flugdrohnen [PRKS19] realisiert. Letztere sind jedoch häufig nur begrenzt positionsstabil und beschränkt in ihrer Einsatzdauer sowie der Kapazität, Testequipment mit Strom zu versorgen. Zudem sind Flugdrohnen in Bezug auf ihre Traglast und Einsatzgebiete stark reglementiert. Beim Einsatz von Stativen erfolgt der Positionswechsel häufig unter erhöhtem manuellem Aufwand durch die Montage oder einem erneuten Einmessen der Geräteposition, um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten.

In diesem Beitrag wird daher ein Konzept für ein mobiles 3D-Liftsystem mit ausfahrbarem Teleskoparm vorgestellt, welche die Nachteile der zuvor erwähnten „herkömmlichen“ Positionierungsmethoden adressiert. Dieses 3D-Liftsystem ermöglicht es, Geräte automatisiert an verschiedene Positionen im 3D-Raum zu fahren sowie die Vermessung von Funk- und Kommunikationstechnologien zu vereinfachen. Neben der Vorstellung des Konzeptes beschreibt der Beitrag ebenfalls dessen Umsetzung sowie Anwendung anhand verschiedener Beispiele. Im Anschluss werden die Eigenschaften des Liftsystems mit den herkömmlichen Positionierungsmethoden verglichen und ein Fazit gezogen.

## **2 Vorstellung des Konzeptes**

Das Kernstück des neuartigen Messkonzeptes bzw. der Positionierungsmethode bildet ein mobiles 3D-Liftsystem mit ausfahrbarem Teleskoparm. Dieses 3D-Liftsystem ermöglicht es für Funk- und Kommunikationssysteme, an verschiedene Positionen im 3D-Raum zu fahren, und eröffnet dadurch vielfältige Möglichkeiten für automatisierte Untersuchungen im Bereich der drahtlosen Kommunikationstechnologie.

Ein Hauptvorteil dieses Liftsystems besteht in der effizienten und leicht reproduzierbaren Durchführung von Messungen. Durch die automatische Positionierung der Geräte im 3D-Raum können Messungen an verschiedenen Standorten durchgeführt werden, ohne manuelle Eingriffe oder Neupositionierungen. Dadurch wird Zeit gespart und die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen verbessert.

Zusätzlich zu den Positioniermöglichkeiten, die die ausfahrbaren Teleskoparme bieten, wird die Mobilität des Systems bzw. die Größe des Messraumes durch die Kompatibilität zu fahrerlosen Transportsystemen (FTS) erhöht. Diese Mobilität ermöglicht einen flexiblen Einsatz des Liftsystems für verschiedene Anwendungsbereiche. So kann das mobile 3D-Liftsystem beispielsweise für die Vermessung von Funkabdeckungen in großen Gebäuden, wie z. B. Industriehallen, oder auf Freiflächen eingesetzt werden. Auch die Untersuchung der Signalqualität in verschiedenen Umgebungen oder von komplexen Forschungsfragen wird dadurch möglich.

Durch die Fähigkeit des 3D-Liftsystem, eine ausdauernde, Akku-basierte Stromversorgung für die drahtlosen Kommunikationssysteme zu Verfügung zu stellen, sind mit dem hier beschriebenen Konzept auch ganz- oder mehrtägige Messungen bzw. Messreihen möglich. Die Durchführung solcher Langzeittest ermöglicht eine detaillierte Untersuchung der Systeme unter realen Bedingungen und berücksichtigt Umgebungseinflüsse, die sich im Laufe der Zeit verändern können. Die dabei ermittelten (Mess-) Daten können über die ebenfalls von dem 3D-Liftsystem bereitgestellte WLAN-Schnittstelle direkt zur Auswertung übertragen werden. Ein Anwendungsbeispiel für solche Langzeittests aus dem Industrieumfeld ist die Untersuchung von lagerndem Material oder flexiblen Fertigungszellen. Durch die kontinuierliche Überwachung der Umgebung können Signalstärke, Interferenzen und andere relevante Parameter umfassend analysiert werden, um die Effizienz und Zuverlässigkeit der beobachteten Kommunikationstechnologie zu verbessern.

## **3 Umsetzung des Konzeptes durch Aufbau des Systems**

Zur Umsetzung des im vorherigen Abschnitt erläuterten Konzeptes wurde das ebenfalls dort eingeführte 3D-Liftsystem konzipiert und schließlich konstruiert. Um die präzise und flexible Bewegung von Funkkomponenten in drei Dimensionen zu ermöglichen, besteht das 3D-Liftsystem aus verschiedenen Komponenten, die im Folgenden näher beschrieben werden. Abb. 1 gewährt dabei zunächst einen grafischen Überblick und benennt die einzelnen Bestandteile:

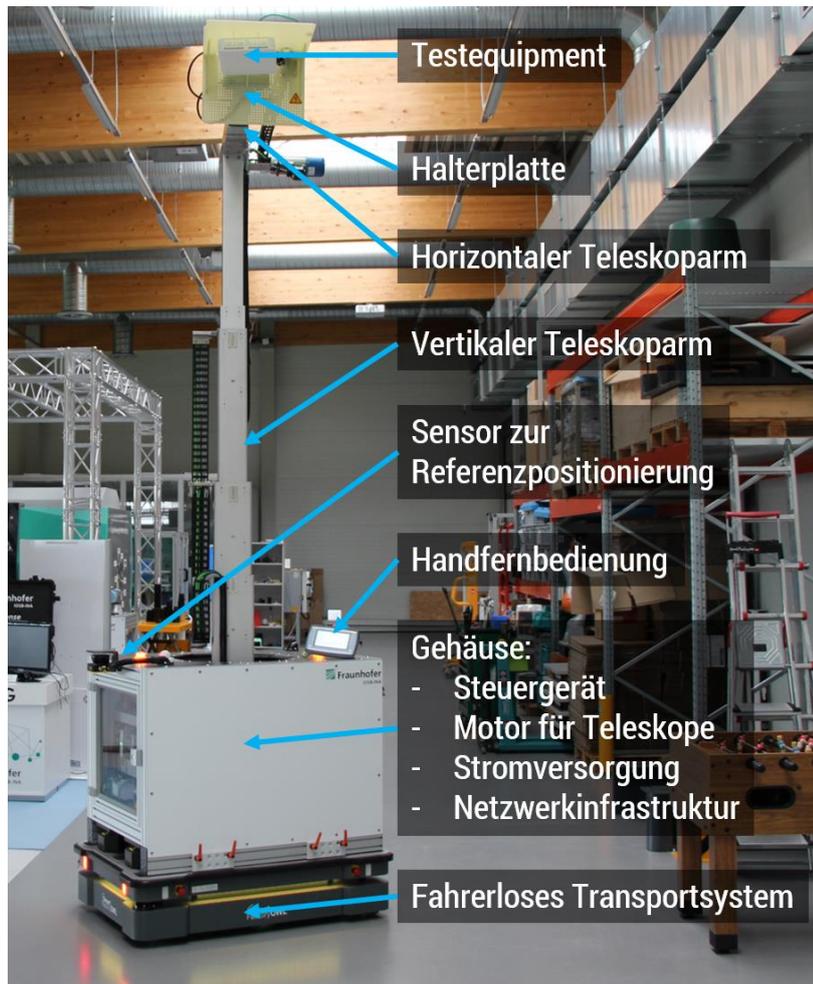


Abb. 1: Bestandteile des 3D-Positioniersystems

Das aus Aluminiumprofilen bestehende Gehäuse des 3D-Liftsystems beherbergt verschiedene Komponenten: Zunächst enthält es ein zentrales Steuergerät, welches die gesamte Funktionalität des Systems steuert. Außerdem befindet sich darin ein Motor, welcher für das Verfahren der beiden Teleskoparme verantwortlich ist. Des Weiteren beinhaltet das Gehäuse einen 3,2 kWh starken LiFePo-Akku sowie Spannungswandler bzw. Netzteile für 24V und 230V, welche sowohl die einzelnen Komponenten des Systems, als auch an dem Teleskoparm montierte Kommunikationssysteme für mehrtätige Messungen mit Strom versorgen. Eine weitere Möglichkeit zur Versorgung des Testequipments bietet die Gigabit-Netzwerkinfrastruktur durch einen verbauten Power over Ethernet (PoE) Switch. Die kabelgebundene Netzwerkinfrastruktur ermöglicht ebenfalls eine Datenübertragung von der Halterplatte bis zu den im Gehäuse verbauten WLAN-Gateway. Das 3D-Liftsystem wurde als Modul designt und hat die Grundmaße einer DIN Euro-Palette. Dadurch kann das 3D-Liftsystem auf vielfältige Weise, wie z. B. mit einem Hubwagen oder auf einem fahrerlosen Transportsystems, bewegt oder abgestellt werden. An der Außenseite des Gehäuses befindet sich außerdem eine abnehmbare Handfernbedienung, mit der die Teleskoparme durch manuelle Bedienung präzise in den drei Dimensionen gesteuert werden kann. Eine Regelung der Verfahrgeschwindigkeit ist ebenfalls möglich. Zur Absicherung des Betriebs ist an der Fernbedienung ein Totmannschalter vorhanden.

Des Weiteren ist an der oberen Gehäuseabdeckung ein Sensor zur Referenzpositionierung montiert. Dieser dient dazu, mithilfe von laserbasierten Messverfahren eine Referenzposition für das Liftsystem zu bestimmen. Dadurch können die Teleskoparme auf der Basis zum Referenzpunkt relativer Koordinaten bewegt werden, welches eine hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Bewegungen gewährleistet.

In der Mitte der oberen Gehäuseabdeckung befindet sich eine Aussparung, aus der der vertikale Teleskoparm herausragt. Dieser besteht aus vier einzelnen Segmenten und kann bis zu einer Höhe von 5 Metern in einer Abstufung von einem Millimeter ausgefahren werden. Zusätzlich ist eine Rotation um die eigene Achse mit bis zu 358° möglich. An der Spitze des vertikalen Teleskoparms ist ein weiterer, kleinerer Arm befestigt, welcher über 1,5 Metern horizontal ausgefahren werden kann. Beide Teleskoparme werden beim Verfahren von jeweils einem Motor angetrieben. Ist die gewünschte Position erreicht, wird aufgrund der selbsthemmenden Eigenschaft der Teleskoparme der Motor abgeschaltet. Dies führt nicht nur zu einer hohen Positionsstabilität, sondern wirkt sich auch positiv auf den Energiebedarf des Systems, besonders bei Langzeittests, aus.

Eine Halterplatte zur Montage von Testequipment befindet sich am Ende des horizontalen Teleskoparms. Dort können drahtlose Kommunikationssysteme oder andere Komponenten mit einem Gewicht von bis zu 15 kg sicher auf einer Lochplatte sowie durch zusätzliche Halterungen befestigt werden. Des Weiteren befinden sich dort eine Schutzkontaktsteckdose mit 230V Spannungsversorgung aus dem Gehäuse sowie ein Ethernet-Anschluss zur Anbindung an die Netzwerkinfrastruktur und PoE. Die dafür notwendigen Kabel werden mithilfe von flexiblen Kabelschleppen über die Teleskoparme ins Gehäuse geführt.

## **4 Anwendung des Konzeptes**

Das konstruierte 3D-Liftsystem wurde in der SmartFactoryOWL, einem gemeinsamen Reallabor des Fraunhofer IOSB-INA und der Technischen Hochschule OWL für Industrie 4.0 sowie einem 5G-Anwendungszentrum, in Betrieb genommen und befindet sich dort für Fallstudien im Einsatz. Als Anwendungsbeispiel für das vorgestellte Positionierungs- und Vermessungskonzept werden im Folgenden bereits mithilfe des 3D-Liftsystems durchgeführte Messungen von 5G-Komponenten im Kontext von Industrieumgebungen beschrieben. Darauf folgt eine weitere Anwendungsmöglichkeit als Ausblick für eine zukünftig angestrebte Automatisierung eines Prüfprozesses für Indoor-Lokalisierungsgeräte.

### **4.1 Wireless Messungen mit dem 3D-Liftsystem in industriellen Umgebungen**

In der Industrie 4.0 spielt drahtlose Kommunikationstechnik eine immer größere Rolle. So werden breitbandige drahtlose Kommunikationssysteme für die Vernetzung von Fahrzeugen, Menschen und Maschinen im Produktions- und Logistikumfeld eingesetzt [LSRP18]. Damit die verschiedenen Kommunikationssysteme wie Mobilfunk oder Wi-Fi ordnungsgemäß funktionieren, müssen diese professionell geplant und parametrisiert werden. Bereits in der Planungsphase kann eine Kartierung der Funkabdeckung sehr wertvoll sein. Neben der Funkabdeckung auf Personenhöhe fordern diverse Use-Cases immer öfter eine Funkabdeckung im 3D-Raum. Dazu zählen z. B. Kommunikationsmodule an Gabeln von Flurförderfahrzeugen oder mehrstöckige Anlagen und Maschinen wie Lackierstraßen. Eine Möglichkeit, theoretische Simulationen mit Messungen zu validieren, bietet hier das 3D-Liftsystem. An der Halterplatte am Ende des Teleskoparms kann ein Mobilfunkmodem zur Messung der Funkabdeckung angebracht werden. Die Spannungsversorgung erfolgt dabei über das 3D-Liftsystem selbst. Mit dem 3D-Liftsystem kann entweder an vielen verschiedenen Punkten gemessen oder eine statische Langzeitmessung durchgeführt werden.

5G-Campusnetze dürfen laut Gesetzgeber eine maximale Feldstärke an der Grundstücksgrenze der Campusnetzzuteilung nicht überschreiten. Diese Feldstärke wird jedoch auf einer Höhe von 3 m über dem Boden gemessen [Euro20]. Das 3D-Liftsystem kann während der Installation der aktiven Netzwerkkomponenten, wie z. B. von Radio Units, in kritischen Bereichen platziert werden und als Messwertaufnehmer unterstützen. Speziell im 5G-Bereich können relevante Parameter der Basisstation iterativ unter Berücksichtigung der Feldstärke am Messwertaufnehmer angepasst werden. Relevante Parameter für die Funknetzabdeckung und somit auch der Feldstärke am Rand von Grundstücken sind der horizontale und vertikale Öffnungswinkel der Remote Radio Unit, Tilt der Radio Unit, Antenna Gain sowie die Sendeleistung. Flugdrohnen bzw. Unmanned Area Vehicles (UAV) eignen sich nicht für diese Art der Messung, da diese häufig nicht innerhalb von Gebäuden fliegen können und oft eine aktive Steuerung bzw. Kontrolle benötigen, wodurch sich der Arbeitsaufwand für die Person erhöht, welche die 5G-Einstellungen parametrisiert. Aufgrund der Möglichkeit nach Erreichen der gewünschten Position das 3D-Liftsystem zu parken, ist kein aktiver Eingriff während der Messung mehr notwendig. Außerdem sind die Teleskoparme durch die Verwendung von Gewindespindeln eigensicher und werden selbst bei Spannungsverlust des Systems nicht unbeabsichtigt eingefahren.

Eine weitere Anwendung im 5G-Bereich ist die Verwendung des 3D-Liftsystems als mobiler Träger einer Remote Radio Unit, wie in der Abb. 2 zu sehen ist. Die Funkeinheit kann an der Halteplattform angebracht und mit Spannung versorgt werden, dadurch ist ein 5G-Netzwerk sofort und ohne baulichen Eingriff in Industriehallen einsetzbar. Mittels dieser Technik können mögliche Positionen von Mobilfunkinfrastruktur im Rahmen einer Messkampagne evaluiert werden.



Abb. 2: 5G-Anwendungszentrum mit 3D-Liftsystem

Neben der Verwendung zur Positionierung von Mobilfunkinfrastruktur und -endgeräten eignet sich das 3D-Liftsystem auch für Wi-Fi Clients und Wi-Fi Access Points. Wi-Fi Clients werden in Hand-Scannern und Gabelstaplern in der Industrie- und Lagerlogistik eingesetzt, auch hier ist eine lückenlose Funknetzabdeckung möglich. Diese wird ebenfalls mit dem 3D-Liftsystem oberhalb der Personenhöhe ermöglicht. Dazu kann das 3D-Liftsystem auch Wi-Fi Roaming-Tests in Problem- oder Grenzzonen ermöglichen. Das Wi-Fi Roaming wird dann initiiert, wenn ein Wi-Fi Access Point in der näheren Umgebung bessere Kommunikationseigenschaften liefert als der aktuell verwendete.

## **4.2 Automatisierung von Prüfprozessen für Komponenten von Indoor-Lokalisierungssystemen**

Omlox ist ein offener Standard für Ultra Wide Band (UWB) basierte Echtzeit- bzw. Indoor-Lokalisierungssysteme in Industrieumgebungen, welcher von der Profibusnutzerorganisation (PNO) zertifiziert wird. Neben Softwarekomponenten besteht ein omlox-System aus einer Satelliteninfrastruktur und so genannten „Trackables“ bzw. Tags. Mithilfe verschiedener, z. B. Laufzeit-basierter Verfahren kann die Position eines Trackables innerhalb einer von mehreren Satelliten aufgespannten Lokalisierungszone ermittelt werden. Um ein Zertifikat für ein omlox-System erhalten zu können, müssen Hersteller ihre Geräte von einem unabhängigen, akkreditierten Labor prüfen lassen, welches diverse Tests durchführt. Diese Tests erfordern unter anderem die Durchführung von mehreren Messungen mit omlox-Tags an verschiedenen Positionen in zwei oder drei Dimensionen innerhalb einer Lokalisierungszone von 3 x 6 x 3 Metern. Bisher wird die Vielzahl Umpositionierungen der Tags von Labormitarbeiter manuell durchgeführt, was viel Zeit in Anspruch nimmt und die Kosten einer Prüfung erhöht.

Die Umsetzung des in diesem Beitrag vorgeschlagenen Konzeptes könnte in Zukunft den Prüfprozess durch eine automatisierte Positionierung von Tags in Bezug auf Zeit und Kosten deutlich optimieren. Unter der Voraussetzung, dass im Prüflabor ausreichen Platz vorhanden ist und kein Tag niedriger als die Höhe des komplett eingefahrenen vertikalen Teleskoparms positioniert werden muss, kann die Anwendung des zuvor beschriebenen 3D-Liftsystems sinnvoll sein. Diese Einschränkung einer notwendige Minimalhöhe für die Positionierung, könnte durch eine zukünftige Verkleinerung des 3D-Liftsystems oder durch eine Anhebung des Bodenlevels der Lokalisierungszone auf Softwareebene vermieden werden. Alternativ könnte das 3D-Liftsystem lediglich zur Positionierung bei weiterführenden Tests in realen Produktionsumgebungen, außerhalb eines reglementierten Prüflaborsetups eingesetzt werden, z. B. in großen Lagerhallen.

## **5 Auswertung**

Die Umsetzung des Konzeptes lässt einen qualitativen Vergleich mit herkömmlichen Positionierungsmethoden zu. In Tab. 1 werden die verschiedenen Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für die Umsetzung von Messungen verglichen. Die Bewertung wird dabei anhand der Eignung für verschiedene Aspekte, welche bei einer Messung von Bedeutung sind, vorgenommen. Aus der Summe der Bewertungspunkte (siehe Aufschlüsselung in der Bewertungsskala der Tabelle) wird eine Gesamteignung berechnet.

Für die Umsetzung von umfangreichen, langwierigen und unterbrechungsfreien Messreihen an einer Position sind insbesondere die dauerhafte Verfügbarkeit des Systems von Bedeutung. Diese ist durch die Eigenschaften des Systems in vollem Umfang gegeben, da das 3D-Liftsystem nicht nur über eine Stromversorgung für den Eigenbetrieb verfügt, sondern auch für die zu vermessenden Geräte Energie bereitstellt. Zudem arbeitet das 3D-Liftsystem besonders energieeffizient, da die Teleskoparme selbsthemmend sind und keinen Strom verbrauchen, wenn sie nicht gerade verfahren werden. Herkömmliche Stative sind ebenfalls für langwierige Messreihen geeignet, bieten aber nicht den Komfort einer integrierten Energieversorgung für Messequipment. Flugdrohnen bzw. UAVs sind für lange, umfangreiche und unterbrechungsfreie Messreihen aufgrund der begrenzten Akkukapazitäten nicht geeignet.

Die Genauigkeit der Positionierung von Geräten mithilfe von Stativen und auch dem 3D-Liftsystem liegt im Zentimeterbereich. Bei Stativen ist die Positioniergenauigkeit von der verwendeten Messmethode abhängig (nicht Gegenstand dieser Betrachtung). Dabei erfordert jeder Positionswechsel ein erneutes Einmessen und erzeugt somit einen hohen Aufwand bei der Einrichtung weiterer Messpositionen. Gegebenenfalls sind mit dem Stativ auch genauere Positionierungen (im Millimeterbereich) möglich. Dahingegen erfordert ein mit dem 3D-Liftsystem

durchgeführter Positionswechsel kein erneutes Einmessen, stattdessen wird die Position auf der Basis des zurückgelegten Fahrweges zentimetergenau ermittelt. Bei Flugdrohnen ist ebenfalls eine einfache Neupositionierung umsetzbar, allerdings ist eine dauerhafte und genaue Positionierung nicht immer möglich, z. B. bei Luftzügen oder ähnlichen Umgebungseinflüssen [PRKS19]. Dies wirkt sich bei UAVs auch auf die Reproduzierbarkeit von Tests aus, wenn z. B. eine Position erneut angefahren werden muss. Zudem führt die häufig fehlende GPS-Verbindung im Indoor-Bereich bei Flugdrohnen zu grundsätzlich Problemen bei der automatisierten Positionierung. Auch bei der Verwendung von Stativen ist eine exakte Reproduktion einer vorherigen Messposition nicht ohne einen erhöhten Aufwand möglich, da diese erst durch wiederholtes Einmessen und ggf. iterative Anpassungen gefunden werden muss. Hier bietet das 3D-Liftsystem ebenfalls den Vorteil, dass die exakte Position gespeichert und einfach erneut angefahren werden kann.

Durch die Bauweise des 3D-Liftsystems besteht die Möglichkeit, Komponenten bis zu einem Gewicht von 15 kg aufzunehmen. Zudem kann das Equipment sicher montiert werden. Stative hingegen müssen für eine größere Traglast entsprechend ausgelegt sein und können somit schnell unhandlich werden. Flugdrohnen können aufgrund ihrer Bauweise häufig nur geringe Lasten tragen und bergen außerdem die Gefahr eines Absturzes durch Kollision.

Durch seinen robusten Aufbau steht das 3D-Liftsystem jedoch der Flugdrohne und dem Stativ hinsichtlich Kompaktheit und Einsatzfähigkeit nach. Während Stative auch aufgrund ihrer Kompaktheit nahezu an jedem Ort eingesetzt werden können, bedarf es für den Einsatz des 3D-Liftsystems eines ebenen und festen Untergrunds sowie einer geeigneten Transportmöglichkeit (z. B. ein fahrerloses Transportsystem) für eine Verlegung des Systems. Flugdrohnen sind ebenfalls sehr kompakt aufgebaut, haben aber auch Einschränkungen, was die Einsatzumgebung betrifft. So gelten hier besondere Regeln, wie beispielsweise in der Nähe von Windrädern oder Flughäfen.

Bei gleicher Gewichtung aller Kriterien zeigt die Auswertung, dass das 3D-Liftsystem die meisten Eignungskriterien für umfangreiche, langwierige und unterbrechungsfreie Messkampagnen erfüllt.

Kriterium	Stativ	Flugdrohne	3D-Liftsystem
Einsatzdauer am Stück	++	--	++
Positionsgenauigkeit	++	0	+
Einrichtungsaufwand neuer Messpositionen	--	++	++
Reproduzierbarkeit von Messpositionen	--	-	++
Traglast & Sicherheit	+	-	++
Einsatzumgebungen	+	+	0
Kompaktheit	++	++	-
Gesamtbewertung	18/28 (64 %)	15/28 (54 %)	22/28 (79 %)
<b>Bewertungsskala</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr Gut (++, 4 Punkte)</li> <li>- Gut (+, 3 Punkte)</li> <li>- Ausreichend (0, 2 Punkte)</li> <li>- Größtenteils ungeeignet/schlecht (-, 1 Punkt)</li> <li>- Ungeeignet (--, 0 Punkte)</li> </ul>			

Tab. 1: Qualitativer Vergleich verschiedener Positionierungsmethoden hinsichtlich verschiedener Kriterien

## 6 Zusammenfassung & Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein neuartiges Konzept zur Positionierung und Vermessung von Komponenten für Indoor-Lokalisierungs- und drahtlose Kommunikationssysteme in Industrieumgebungen vorgestellt. Herkömmliche Positionierungsmethoden und -konzepte haben teilweise signifikante Nachteile, wie einen erhöhten Zeitaufwand, begrenzte Traglasten, sowie mögliche Ungenauigkeiten und damit eine geringe Reproduzierbarkeit von Positionen. Als Alternative zu diesen herkömmlichen Methoden wurde das Konzept einer automatisierten Positionierung mithilfe eines 3D-Liftsystems eingeführt und dessen technische Umsetzung und die dadurch entstehenden Vorteile beschrieben. Darauf folgte eine Validierung des Liftsystems durch eine Fallstudie zur Vermessung von 5G-Komponenten sowie ein Ausblick auf ein weiteres mögliches Anwendungsfeld bei der Prüfung von Indoor-Lokalisierungssystemen wie z. B. dem neuen, herstellerübergreifenden Indoor-Lokalisierungsstandard omlox. Abschließend wurden die verschiedenen Positionierungsansätze qualitativ miteinander verglichen und ihre Vor- und Nachteile aufgezeigt. Dabei konnte gezeigt werden, dass das vorgeschlagene Konzept die Kriterien für eine umfangreiche, langwierige und unterbrechungsfreie Messkampagne mit 79 % erfüllt, während eine Umsetzung mithilfe von Stativen oder Flugdrohnen dies nur zu 64 % bzw. 54 % tun. Demnach ist das Positionierungskonzept des 3D-Liftsystems deutlich besser geeignet als die verglichenen Ansätze.

## 7 Literaturverzeichnis

- [BBTM21] Barbieri, Luca ; Brambilla, Mattia ; Trabattoni, Andrea ; Mervic, Stefano ; Nicoli, Monica: UWB Localization in a Smart Factory: Augmentation Methods and Experimental Assessment. In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* Bd. 70 (2021), S. 1–18
- [Euro20] The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) Electronic Communications Committee (ECC): ECC Recommendation (15)01, Cross-border coordination for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the frequency bands: 694-790 MHz, 1427-1518 MHz and 3400-3800 MHz (2020)
- [LSRP18] Lucas-Estañ, María del Carmen ; Sepulcre, Miguel ; Raptis, Theofanis ; Passarella, Andrea ; Conti, Mario: Emerging Trends in Hybrid Wireless Communication and Data Management for the Industry 4.0. In: *Electronics* Bd. 7 (2018), S. 400
- [PRKS19] Platzgummer, Valentin ; Raida, Vaclav ; Krainz, Gerfried ; Svoboda, Philipp ; Lerch, Martin ; Rupp, Markus: UAV-Based Coverage Measurement Method for 5G. In: *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, 2019, S. 1–6