

Technologien zum Tracking von Ladungsträgern und Werkzeugen in der ortsgebundenen Fertigung

Technologies for tracking of load carriers and tools in project manufacturing

*Prof. Dr.-Ing Nina Vojdani
Patrick Drechsler, M.Sc.*

*Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock*

Die ortsgebundene Fertigung zeichnet sich durch den Transport von Materialien, Arbeitskräften und Betriebsmitteln zum zu produzierenden Objekt aus. Damit verbunden sind nicht nur komplexe logistische Prozesse, sondern auch ein hoher Koordinationsaufwand. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass es entlang der Prozesskette von der Kommissionierung über den Transport bis hin zur Bereitstellung der Materialien für die Fertigung zu Fehlern kommt, was zu einer mangelnden Versorgung der Fertigung führt. Dies kann aufwendige Suchprozesse zur Folge haben, wodurch Folgeprozesse beeinträchtigt werden können. Aufgrund der zahlreichen Tracking-Technologien und stetig sinkenden Investitionskosten ergeben sich neue Anwendungspotenziale, wie zum Beispiel im Bereich der ortsgebundenen Fertigung. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Untersuchung verschiedener Technologien zum Tracking von Ladungsträgern und Werkzeugen in der ortsgebundenen Fertigung vor.

[Schlüsselwörter: ortsgebundene Fertigung, Tracking, Positionsbestimmung, Ladungsträger, Werkzeuge]

The project manufacturing is characterized by the transport of materials, workers and resources to the producing object. Associated with this are not only complex logistical processes, but also a higher coordination effort. In addition, there is a risk that work packages will be incorrectly assigned or tools will be relocated along the process chain, from order picking to transport to the provision of materials for production. This can lead to complex search processes, which can impair subsequent processes. Due to numerous tracking technologies and constantly falling investment costs, there are new application potentials, for example in the area of project manufacturing. This article presents the results of the investigations of various technologies for tracking load carriers and tools in project manufacturing.

[Keywords: project manufacturing, localization, tracking, load carrier, tools]

1 EINLEITUNG

Die ortsgebundene Fertigung bzw. die Baustellenmontage unterscheidet sich durch die stationäre Ausprägung der zwei Bewegungsgrößen Montageobjekt und Montagearbeitsplatz von anderen Formen der Fertigung und der Montage. [Stel1], [Eve89] Dabei werden die Teile, Baugruppen und Werkzeuge zum Montageobjekt transportiert. Grund für diese Art der Fertigung sind häufig Restriktionen, die sich aus der Art des Produkts oder der vorhandenen Infrastruktur ergeben, wie zum Beispiel bei Schiffen, Großmaschinen und Bauwerken. Darüber hinaus entsteht ein Mehraufwand für die Planung, Steuerung und Kontrolle der Materialflüsse und des Personals. Die komplexen Prozesse begünstigen Fehler bei der Versorgung der Fertigung. Diese können eine Verlegung von mit kommissionierten Materialien beladenen Ladungsträgern sowie von Werkzeugen zur Folge haben, was zeitliche und kostenbezogene Auswirkungen auf Folgeprozesse haben kann.

Die Kenntnis darüber, welche Materialien und Werkzeuge zu welchem Zeitpunkt in welcher Menge an welchem Ort sind, führt zur Vermeidung von Abweichungen in der Fertigung. Des Weiteren ist es möglich, Abweichungen frühzeitig zu erkennen, Objekte zu finden und aufwendige Suchprozesse zu vermeiden. Der Einsatz von Tracking Technologien ermöglicht dabei die Verfolgung der Objekte in Echtzeit und eine Verbesserung der Überwachung der Fertigungsprozesse. [BBPT+20], [LYK19], [SYSF+20] Die Bandbreite verschiedener Verfahren, Messmethoden und Technologien ermöglicht hierbei den Einsatz in vielen logistischen Anwendungsgebieten.

In diesem Beitrag wird eine Untersuchung der Technologien zum Tracking von Ladungsträgern und Werkzeugen in der ortsgebundenen Fertigung vorgestellt.

2 LADUNGSTRÄGERTRACKING

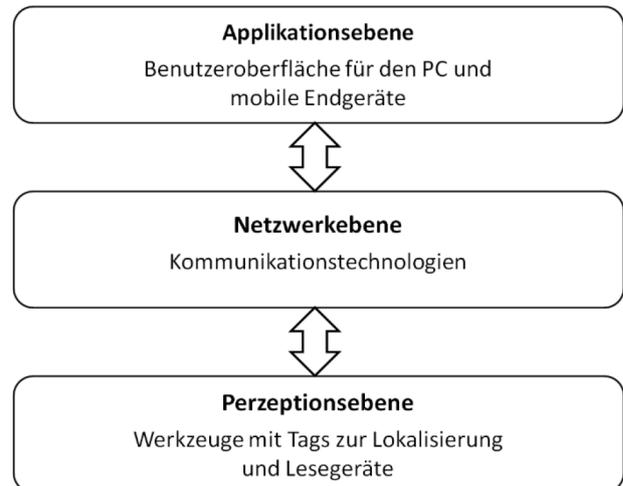
Das Ladungsträgermanagement befasst sich mit der Planung, Steuerung und Überwachung der Bestände und Bewegungen der Ladungsträger. Ziel ist es in diesem Zusammenhang, einen reibungslosen Material- und Warenstrom mit einer optimalen Verfügbarkeit zu erreichen. [HB13] Beim Austausch von Ladungsträgern und Ladung zwischen den Beteiligten der Versorgungs- und Produktionsprozesse, welche teilweise unabhängig voneinander koordiniert werden, können jedoch Informationen über die Anzahl, Art und den Ort der Ladungsträger fehlerhaft weitergegeben werden. Dadurch können Verzögerungen entstehen, welche einen Einfluss auf nachgelagerte Prozesse haben. Um diesem entgegenzuwirken, kann ein prozessübergreifendes Ladungsträgermanagement zielführend sein. Dieses kann durch die Verwendung eines Trackingsystems erreicht werden. Mit einem solchen System lassen sich die Positionen der Ladungsträger ermitteln und Abweichungen in Echtzeit identifizieren. Innerhalb dieses Beitrags liegt der Fokus überwiegend auf dem Tracking der beladenen Ladungsträger. [Hof13]

3 WERKZEUGTRACKING

Gemessen an der steigenden Anzahl angebotener Lösungen für Werkzeugmanagementsysteme von verschiedenen Anbietern gewinnt die Integration von Sensoren zum Management von in der Fabrik eingesetzten Werkzeugen und Equipment immer mehr an Bedeutung. Diese können u.a. zur Verwaltung von prüfpflichtigen Werkzeugen, Einhaltung von Prüfabständen [AM-VO20] und Verbesserung der Servicedokumentation sowie für das Tracking der Werkzeuge genutzt werden.

Sofern Werkzeuge und Equipment mit Sensoren ausgestattet werden, können Prüfprotokolle und Termine wie die nächste Wartung direkt auf diesen hinterlegt werden. Somit kann die Verwaltung von Maschinen und prüfpflichtigen Betriebsmitteln und die Einhaltung der Prüfabstände, welche von großer Bedeutung sind, vereinfacht werden. [AM-VO20] Prüfungen am Gerät können direkt auf diesem gespeichert und per Cloud an das Verwaltungssystem weitergegeben werden. Der zugehörige Informationsfluss ist in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1 zeigt die Systemarchitektur für ein Werkzeugmanagementsystem mit Trackingfunktion, welches in die Ebenen der Perzeptionsebene, der Netzwerkebene und der Applikationsebene unterteilt ist. Die Perzeptionsebene nutzt die von den Sensoren ausgestrahlten Informationen, um diese zu lokalisieren. Die Netzwerkebene ist für die Übertragung von Daten zuständig. Die Applikationsebene stellt den Zugang für den Anwender dar und ist an dessen Bedürfnissen ausgerichtet. [WXVN20]



4 ANFORDERUNGEN

Unter Betrachtung der Rahmenbedingungen der ortsgebundenen Fertigung lassen sich die nachfolgenden Anforderungen an ein Trackingsystem ableiten:

- 24/7 Verfügbarkeit
- Einfache Implementierbarkeit
- Skalierbares System
- Hohe Genauigkeit im Indoor- und Outdoorbereich
- Witterungsbeständigkeit (mindestens IP65)
- Hohe Batterielebensdauer
- Signale des Systems dürfen andere Anwendungen nicht beeinträchtigen
- Ladungsträgerkompatibel
- Werkzeugkompatibel

5 TECHNOLOGIEN

In diesem Abschnitt wird eine Auswahl an Funktechnologien im Trackingbereich betrachtet.

5.1 GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

GPS ist ein System, welches Satelliten zur Positionsbestimmung nutzt. Bei der Lokalisation über GPS senden die Satelliten ihre Position und die Uhrzeit an den Empfänger auf der Erde. Mittels Berechnung der Signallaufzeiten

lässt sich über die Trilateration die Position des gewünschten Objektes in Abhängigkeit von den Satelliten bestimmen. In der Theorie reichen die Signale von drei Satelliten aus, um die eigene Position zu ermitteln. Aufgrund von Abweichungen in der Zeiterfassung der Signalempfänger können die Signallaufzeiten in der Praxis mit nur drei Satelliten nicht genau ermittelt werden, was die Positionsbestimmung erschwert. Um nicht auf diese Information des Empfängers zurückzugreifen, werden die Signale eines vierten Satelliten benötigt, der die Referenzzeit des Empfängers bestimmt. [ONB06]

Ohne ein Korrektursignal einer Referenzstation sind Genauigkeiten von bis zu 5 m möglich. Durch eine ortsfeste Referenzstation kann die Genauigkeit auf unter 5 m gesteigert werden. Mit der Bestimmung der Phase des Differential Global Positioning Systems (DGPS) lässt sich die Präzision sogar auf unter 100 mm erhöhen. [ONB06]

5.2 ULTRA-BREITBAND-TECHNOLOGIE (UWB)

Die Ultra-Breitband-Technologie ist eine Kurzstreckenfunktechnologie, mit der sowohl im zweidimensionalen als auch im dreidimensionalen Raum genau gemessen werden kann. Die Position wird anhand der Trilateration, unter Bestimmung der Entfernungen über die Laufzeitmessung ermittelt. UWB zeichnet sich durch eine niedrige Latenzzeit, wenige Interferenzen sowie eine hohe Genauigkeit (± 100 mm) aus. Sie kommt vorrangig im industriellen Umfeld zum Einsatz, wenn Tracking-Lösungen mit hoher Präzision gefordert werden. Aufgrund der im Vergleich zu anderen Technologien hohen Investitionskosten kommt diese Technologie beim Tracking von hochwertigen Waren und Geräten zum Einsatz. Nachteilig an dieser Technologie ist deren Störungsanfälligkeit bezogen auf die Ortung, wenn sich Hindernisse zwischen dem Sender und Empfänger befinden. [Don17]

5.3 RADIO-FREQUENCY-IDENTIFICATION (RFID)

RFID ist eine Form der drahtlosen Kommunikation, welche Funkwellen nutzt, um Objekte zu identifizieren. RFID-Systeme bestehen aus Lesegeräten und Transpondern, welche Informationen übermitteln. Durch diese vergleichsweise kleine Bauweise ist eine Verwendung bei kleinen Objekten möglich. RFID-Tags können sowohl passiv als auch aktiv ausgeführt werden. Aktive Tags verfügen über eine eigene Energieversorgung und können dementsprechend über größere Entfernungen Signale verarbeiten. Bei passiven Sensoren wird zum Auslesen ein elektromagnetisches Feld vom Lesegerät aufgebaut. Dieses aktiviert den Transponder und ermöglicht die Informationsübertragung ohne weitere Energiequelle am RFID-Tag. Aufgrund ihrer geringen Reichweite werden die passiven Tags grundlegend für die Positionsbestimmung auf kurze Distanzen genutzt. Entsprechend der geringen Stückkosten für diese

Art der Tags werden sie meistens bei Tracking-Lösungen eingesetzt, welche eine große Anzahl von Tags benötigen, wie beispielsweise im Bestandsmanagement. [WXVN20] Aktive RFID-Transponder können hingegen Daten über größere Reichweiten übertragen. Spezielle Super High Frequency RFID-Tags können sogar Reichweiten von bis zu 230 m abdecken. [BBR19] Aufgrund ihrer nicht sphärischen Ausbreitung ist eine zielweisende Ausrichtung der Antennen für das erfolgreiche Lesen der Tags unabdingbar. Die aktiven Tags können mittels Auswertung der beim Lesegerät eingehenden Signalstärke über Trilateration lokalisiert werden. [Don17], [Ker11]

5.4 BLUETOOTH

Bluetooth ist ein Standard für die Datenübertragung auf kurzer Distanz mittels Funktechnologie. Durch die Auswertung der Signalstärke und die Nutzung der Trigonometrie lassen sich jedoch zusätzlich Objekte mit Bluetooth lokalisieren. Über die Trilateration können beispielsweise Waren oder Werkzeuge in der Nähe lokalisiert werden. Zu diesem Zweck können Bluetooth-Beacons an Objekten angebracht werden. Diese senden Signale, welche von den Empfängern ausgewertet und für die Positionsbestimmung genutzt werden können. [Don17]

Mit der Version Bluetooth 5.1 wurde die Peilfunktion zur Richtungserkennung implementiert, welche eine Positionsbestimmung im Dezimeterbereich erlaubt. Mit diesem Standard kann über die phasengesteuerten Antennen die Richtung ermittelt werden. Durch die Messung der Phasenverschiebung jeder Antenne kann der genaue Angle-of-Arrival berechnet werden. Die Genauigkeit der Messungen nimmt jedoch mit zunehmender Reichweite sowie im Umfeld mit vielen Störfaktoren ab. [Wur20]

5.5 WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN)

Als WLAN wird ein lokales Funknetzwerk bezeichnet, bei dem Wireless Access Points Daten und Informationen senden und empfangen. WIFI hingegen ist eine bestimmte Art WLAN, welches nach dem IEEE-802.11-Standard zertifiziert ist. [BCFP20] Nach dem Verfahren der Received Signal Strength Identifikation (RSSI) können die Standorte der zu lokalisierenden Objekte berechnet werden. Um dies zu ermöglichen, müssen die notwendigen Positionsdaten der ortsgebundenen WLAN-Einrichtungen hinterlegt sein. Die Genauigkeit ist stark von der Abschirmung durch Wände, Objekte und die Anzahl der Access Points, die zur Lateration bereitstehen, abhängig. Bei der Lokalisation mittels WLAN können Reichweiten von 100 bis zu 150 m und unter guten Bedingungen Genauigkeiten von 5 bis 15 m erreicht werden. Aufgrund der geringen Genauigkeit wird diese Technologie im Rahmen der Lokalisierung eher zur Analyse von Bewegungsprofilen genutzt. [Don17]

5.6 LONG RANGE WIDE AREA NETWORK (LORAWAN)

LoRaWAN ist ein Low Power-Wireless Netzwerkprotokoll. Die Spezifikationen dieses Netzwerks erlauben die nahtlose Zusammenarbeit verschiedener Systeme und Techniken ohne lokale komplexe Installationen. LoRaWAN kann im Rahmen von IoT-Anwendungen für eine bidirektionale Kommunikation, Lokalisierung und Mobilität von Dienstleistungen eingesetzt werden. Durch diese Technologie können unterschiedliche batteriebetriebene Sensoren und Tags in Systemen eingebunden werden. Diese LoRaWAN-fähigen Tags können Informationen an das Gateway senden, welches diese dann an entsprechende Server weiterleitet. Die Unterschiede gegenüber dem WLAN stellen hierbei die deutlich bessere Energieeffizienz sowie die größere Funkreichweite sowie die Nutzung offener Frequenzen dar. Nachteilig hingegen ist die geringere Datenübertragungsrate von 0,3 kb/s bis 50 kb/s, die jedoch für die Übertragung von Sensorinformationen zufriedenstellend sind. LoRa selbst wird hauptsächlich zur Übermittlung von Informationen in beispielsweise Lokalisationssystemen genutzt. Erste Forschungsteams testen jedoch bereits die Verwendung von LoRa als Tracking-Technologie. [BGS21]

5.7 5G

Die fünfte Generation des Mobilfunkstandards (5G) ermöglicht Datenraten von bis zu 20 Gbit/s durch die Nutzung höherer Frequenzbereiche. Die bisherigen Mobilfunkstandards wurden hauptsächlich für den Datentransfer entwickelt. Mit diesen Standards konnten zur Lokalisierung

zum Beispiel bei Notrufen im Optimalfall Genauigkeiten zwischen 20 m und 50 m erreicht werden. Zusätzlich ist es mit 5G möglich, bei laufzeitbasieren Methoden dank der hohen Bandbreite Lokalisierungen im Submeterbereich durchzuführen. Die Standardisierung von 5G ist hierbei ein fortlaufender Prozess, bei dem mehrere Entwicklungsstufen im Rahmen weiterer Releases folgen werden.

Die 5G Technologie erlaubt die Einbindung und das Tracking einer Vielzahl von Sensoren und wird in zahlreichen IoT-basierten Projekten angewendet, untersucht und weiterentwickelt. [Eck19]

In Tabelle 1 sind die vorgestellten Funktechnologien zum Tracking sowie deren grundlegende Eigenschaften aufgeführt.

6 METHODIK UND ERGEBNISSE

Im Rahmen einer Literaturanalyse wird ein Überblick über die Forschungsaktivitäten zum Einsatz von Tracking-Technologien in Produktion und Logistik gegeben. Für die Analyse der wissenschaftlichen Publikationen wird die führende Datenbank Elsevier-Scopus verwendet. Die Datenbankabfrage mit dem Suchstring der Form ("tracking" OR "localization") AND ({logistics} OR production) ergab 1846 Treffer für den Zeitraum von 2016-2020. 351 Suchergebnisse wurden bei der Datenbankabfrage mit dem Suchstring der Form ("tracking" OR "localization") AND "Anwendungsgebiete" AND "Tracking-Technologien" gefunden. In der Abfrage werden Titel, Abstracts und Keywords der Artikel nach den definierten Suchkriterien durchsucht.

Technologie	Reichweite	Genauigkeit	Geeignet für	Batterielebensdauer
Bluetooth	<75m	<1m bei Sichtverbindung	flächendeckende Ortung	hoch
UWB	<150m	±10 cm	flächendeckende Ortung	mittel
GPS	weltweit verfügbar	±10 cm bei DGPS	flächendeckende Ortung	schlecht-mittel
RFID	Passiv : <5m Aktiv: <230m	Passiv: reine Präsenzerkennung Aktiv über Trilateration: <5m	Vorwiegend punktuelle Ortung	hoch / bei passiven Tags keine Batterie notwendig
LoRa	<15km	<5m	Informationsübertragung	sehr hoch
5G	<20km	<20cm	flächendeckende Ortung	mittel
WLAN	<150m	<15m	flächendeckende Ortung	mittel

Als Anwendungsgebiete wurden logistics, production, manufacturing, factory, construction site, warehouse und als Tracking-Technologien bluetooth, GPS, UWB, RFID, LoRa, WIFI, WLAN und 5G für die Suchanfrage mit einbezogen.

Abbildung 2 zeigt die Suchergebnisse für den Untersuchungszeitraum von 2016 bis 2020. Die insgesamt gefundenen 351 Veröffentlichungen bezüglich der genannten Anwendungsgebiete und betrachteten Tracking-Technologien wurden nach einer Analyse der Titel und Keywords auf eine Anzahl von 182 reduziert. Die weiterführende Abstractanalyse ergab 55 Artikel. Bei diesem Untersuchungsschritt wurden nur Veröffentlichungen in Betracht gezogen, welche die Tracking-Technologien in realen Umgebungen oder in nachgebildeten Szenarien der betrachteten Anwendungsgebieten untersuchen bzw. analysieren.

Die Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Publikationen unterteilt nach Anwendungsgebieten, wobei dem Anwendungsbereich der Produktion mit 34 die meisten Publikationen (rund 61%) zu verzeichnen hat.

Abbildung 4 zeigt die Anzahl der Publikationen, welche nach verschiedenen Anwendungsgebieten aufgeteilt sind. Diese werden nach den betrachteten Technologien differenziert dargestellt. Die meisten Publikationen befassen sich mit der Anwendung der RFID-Technologie, im Bereich Produktion, gefolgt von UWB

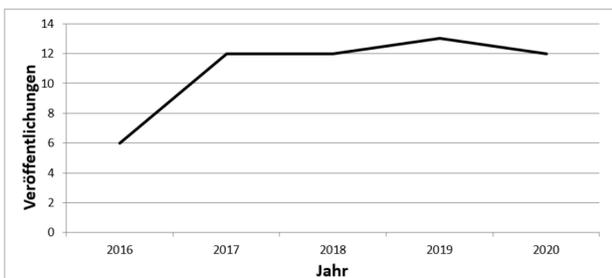


Abbildung 2: Anzahl von Publikationen bezüglich Tracking in den "betrachteten Themengebieten"

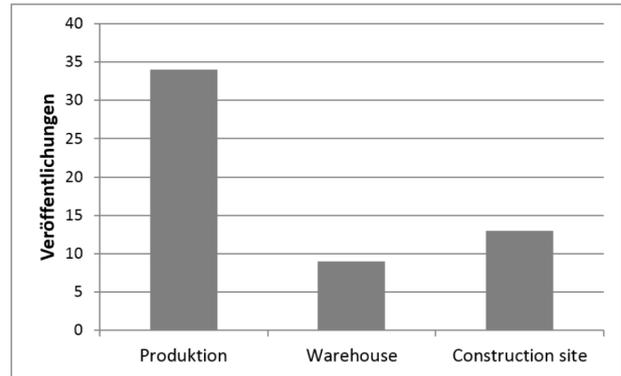


Abbildung 3: Suchergebnisse nach Anwendungsgebiet

7 STAND DER FORSCHUNG

Nachfolgend werden ausgewählte Artikel die sich mit dem Tracking in den Bereichen der Produktion, der Baustellenfertigung und der Lager beschäftigen, vorgestellt.

Dror et al. vergleichen zwei Methoden zur Anwendung von BLE-Beacons für das Indoor-Assettracking – fixed-Beacons und mobile Gateways vs. mobile-Beacons und feste Gateways. Dabei werden Kosten, Machbarkeit und Genauigkeit der beiden Methoden verglichen und die Performance der Methoden hinsichtlich der Lieferung der erforderlichen Daten zur Optimierung der Produktionssteuerung in den Baustellen bewertet. Dazu wurden mehrere

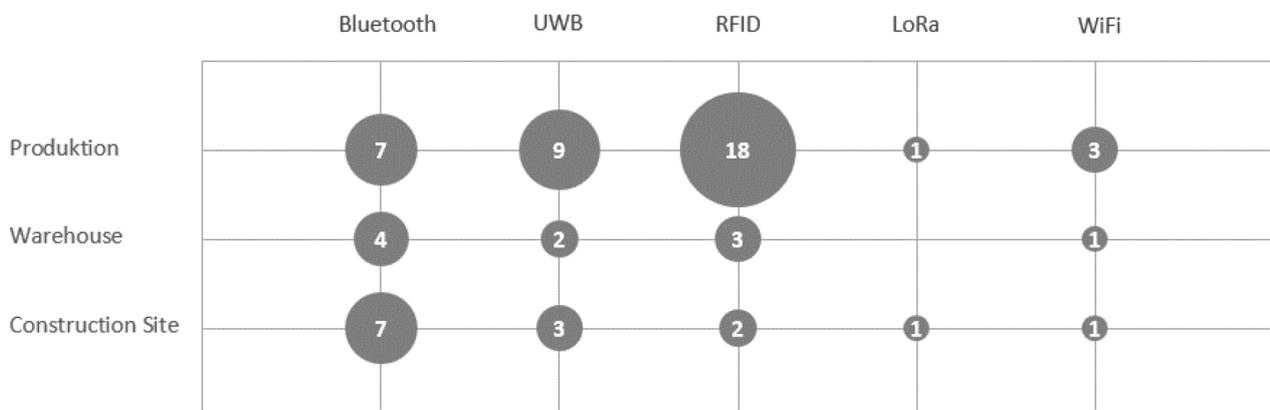


Abbildung 4: Suchergebnisse nach Technologien und Anwendungsgebieten

Feldversuche im Labor und auf Baustellen in unterschiedlichen Ländern durchgeführt. Bei diesen Tests wurden Werker, Material und Equipment getrackt. Umfangreiche Versuche zeigten, dass beide Methoden für die Überwachung von Ressourcen auf Baustellen geeignet sind. Die Fixed-Beacons-Methode weist sowohl geringere Kosten als auch höhere Reichweiten im Vergleich zur Mobile-Beacons-Methode auf. Die mobilen Beacons verfügen hingegen über eine geringere Latenz, da die festen Gateways in Echtzeit kommunizieren. [DSSZ19]

Lam et al. untersuchen den Einsatz von Bluetooth Wireless Mesh Networks in einer Smart Factory Umgebung, um durch eine effiziente Konnektivität die Shopfloor-Daten in Echtzeit zu sammeln. Mit einem webbasierten Dashboard ist die Überwachung der Status von Sensoren und intelligenten Fahrzeugen möglich. In Zukunft soll durch den Einsatz des Bluetooth 5.1 Standards die Genauigkeit der Lokalisierung verbessert werden. [LYK19]

Vojdani et al. untersuchen Verfahren und Technologien zur Positionsbestimmung von unbegleiteten Trailern in RoRo-Terminals. Beim Vergleich wurde festgestellt, dass im Rahmen der geometrischen Analyse die Bluetooth-Technologie die Anforderungen zum Tracking am umfassendsten erfüllt. [VEM19]

Vojdani und Lück entwickeln ein RTLS Konzept zur intelligenten Überwachung von mobilen Objekten in RoRo-Häfen. Die Objekte im Hafengelände werden mit Bluetooth-Beacons ausgestattet. Durch eine Kombination der Satellitenortung und der signalstärkenbasierten Abstandsmessung zwischen den Bluetooth-Beacons und mobilen Endgeräten können diese über Trilateration lokalisiert werden. [VL18]

Mun et al. untersuchen die Anwendung eines Fehlererkennungs- und Isolationsalgorithmus (FDI) zur optimierten Ortung von Schwerlasttransportern auf der Werft mittels GPS. Durch den FDI-Algorithmus werden fehlerhafte Signale erkannt und isoliert. Dadurch wird eine robuste und präzise GPS-Ortung ermöglicht. [MAL18]

Schroer untersucht den Einsatz von UWB basierend auf dem Time Difference of Arrival Algorithmus zur Indoor Positionierung in Industrieanlagen unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen, wie z.B. blockierte Sichtwege durch Maschinen, Objekte und Reflexionen durch Metallwände. Es werden Basisstationen mit vier anstatt einem Transceiver genutzt, um die Robustheit des Systems zu stärken. Bei der Untersuchung industrieähnlicher Szenarien konnte Schroer zeigen, dass mit dem Mehrkanalaufbau der Basisstationen die Genauigkeit des Systems auch unter nicht idealen Bedingungen wie blockierten Sichtwegen erhöht werden kann. Die Multi-Channel Vorgehensweise führt zu robusten Lokalisierungsergebnissen. [Sch18]

Barbieri et al. arbeiten an einem UWB-System für die Anwendung in Fabriken und Umgebungen mit einer hohen Dichte an Streuobjekten und Hindernissen. Sie konzentrieren sich dabei auf den Einsatz des Bayes'schen Filters, um die Auswirkungen durch Hindernisse und Reflexionen zu kompensieren. Experimentelle Ergebnisse zeigen, dass trotz einer Umgebung mit vielen Störfaktoren eine genaue Lokalisierung mittels UWB möglich ist. [BBPT+20]

Ghadge et al. befassen sich mit der Lokalisierung von Assets in einer Smarten Fabrik. Sie untersuchen Techniken zur Verfolgung von Metallteilen unter Einsatz von passiven RFID Tags. Es wird eine Fingerprinting-Methode angewandt, um mit der empfangenen Signalstärke die Position der Objekte abzuschätzen. Die Positionen werden mit einer Genauigkeit von 89% in einem 3,6 x 3,6 m Bereich lokalisiert. Über ein Raster mit Lesegeräten können die Objekte in einer Fabrik verfolgt werden. [GABG+20]

Huang und Shi beschäftigen sich mit der Lokalisation in Intelligenten Lägern. Sie verwenden passive RFID-Systeme zur Verfolgung von Artikeln auf den Lagerregalen. Die Funksignale der Tags werden fortwährend erfasst und über ein autonom lernendes Multimodellsystem ausgewertet. [HS19]

Islam et al. analysieren die Machbarkeit der Verwendung von LoRaWAN für die Indoorlokalisierung. Die Testergebnisse bei der Indoorlokalisierung wurden mit denen von Bluetooth und WIFI verglichen. Es wurden Tests mit und ohne Sichtlinie zwischen Empfänger und Sender durchgeführt. Hierbei wurde die Entfernung über eine unterschiedliche Anzahl von Wänden und Etagen gemessen. Beim Vergleich stellen die Autoren fest, dass die LoRa Technologie hinsichtlich der Genauigkeit, Leistung und der Kosten eine konkurrenzfähige Lösung darstellt und insbesondere in breiten und hohen Indoorumgebungen wie Lagerhallen Vorteile bietet. [IKN19]

Auch Teizer und Li et al. befassen sich mit dem Einsatz von LoRaWAN in Trackingsystemen in Kombination mit anderen Tracking-Technologien für die drahtlose Datenübertragung zwischen den Empfängerpunkten eines Netzwerkes. Die große Reichweite und energiesparsame Übertragung mittels LoRa erlauben eine große Flexibilität. Systeme, bei denen UWB für die Lokalisation und LoRaWAN für die Datenübertragung genutzt wurden, konnten erfolgreich in Lagerhallen, Räumen und Korridoren getestet werden. [TNWJ+20], [LCLC+20]

Moselhi et al. setzen sich mit dem effektiven Management von Projekten in der ortsgebundenen Fertigung auseinander. Sie erstellen Standorterfassungssysteme, welche genutzt werden, um Zeitplanverzögerungen frühzeitig zu erkennen. Den Schwerpunkt bildet ein Überblick über Multisensordatenfusionsmodelle mit verschiedenen Sensoren und Tracking-Technologien. Hierbei wird die Verwendung von unterschiedlichen Sensoren und Technologien wie

GPS, RFID und UWB in Kombination miteinander untersucht. Sie stellten fest, dass der Einsatz von UWB-Systemen im Rahmen der Anforderungen gute Ergebnisse erzielt. [MBZ20]

8 FAZIT

In diesem Beitrag sind die Ergebnisse der Untersuchung verschiedener Technologien zum Tracking von Ladungsträgern und Werkzeugen in der ortsgebundenen Fertigung vorgestellt worden. Im Rahmen dieser wurden die Anforderungen, welche die ortsgebundene Fertigung an Tracking-Technologien bzw. -systeme stellt, ermittelt. Demnach müssen die zu verwendenden Technologien sowohl im Indoor- als auch im Outdoorbereich funktionieren und auch unter widrigen Bedingungen eine genaue Lokalisierung ermöglichen. Anschließend sind verschiedene Technologien in Bezug auf die ortsgebundene Fertigung betrachtet und deren Vor- und Nachteile aufgeführt worden.

Es wird deutlich, dass RFID, UWB und Bluetooth die Technologien sind, welche am häufigsten im Indoortracking eingesetzt und fortwährend optimiert werden. LoRaWAN erzielt in ersten Tests bereits gute Resultate bezüglich Genauigkeit und Reichweite. Im Outdoorbereich werden neben GPS auch Bluetooth und UWB eingesetzt.

Die Analyse der Publikationen zeigt eine rege Forschungstätigkeit bezüglich des Trackings in unterschiedlichen Anwendungsgebieten, wobei insbesondere zum Ladungsträger- und Werkzeugtracking in der ortsgebundenen Fertigung intensiver Forschungsbedarf besteht.

LITERATUR

- [AKA14] Alhadhrami, S. A.; Khalifa, H. A.; Alnafessah, A.: *Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms*. 2014 International Conference on Cyberworlds. IEEE, 2014.
- [AM-VO20] Arbeitsmittelverordnung (AM-VO) BGBl. II Nr. 164/2000.
- [BBPT+20] Barbieri, L.; Brambilla, M.; Pitic, R.; Trabattoni, A.; Mervic, S.; Nicoli, M.: *UWB Real-Time Location System for Smart Factory: Augmentation Methods and Experiments*. 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1-7, 2020.
- [BBR19] Bauer, M.; Bienzeisler, B.; Rohm, M.: *Track and Trace Technologien im Überblick Kurzstudie zur Potenzialanalyse digitaler Objekterkennungs-Technologien im Anwendungsfeld Logistik*. Stuttgart, Fraunhofer IAO, 2019.
- [BCFP20] Bujari, A.; Corradi, A.; Foschini, L.; Palazzi, C.: *Feasibility of Commodity WiFi for Operations Control in an Autonomous Production Site*. 2020 IEEE 25th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), pp. 1-6, 2020.
- [BGS21] Bouras, C.; Gkamas, A.; Salgado, S. A. K.: *Exploring the energy efficiency for Search and Rescue operations over LoRa*. 202111th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp. 1-5, 2021.
- [Don17] Donaubaue, T.: *Ortungstechniken im Vergleich*. <https://www.industry-of-things.de/indoor-positionsbestimmung-ortungstechniken-im-vergleich-a-632311/>. 2017. Abrufdatum: 14.04.2021.
- [DSSZ19] Dror, E.; Sacks, R.; Seppänen, O.; Zhao, J.: *Indoor Tracking of Construction Workers Using BLE: Mobile Beacons and Fixed Gateways vs. Fixed Beacons and Mobile Gateways*. Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Dublin, Ireland, pp. 831-842, 2019.
- [Eck19] Eckstein, M.: *5G zur besseren Standorterkennung nutzen*. <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/5g-zur-besseren-standorterkennung-nutzen-a-843345/>. 2019. Abrufdatum: 21.04.2021.
- [Eve89] Eversheim, W.: *Organisation in der Produktionstechnik Band 4*. Aachen, 1989.
- [GABG+20] Ghadge, K.; Achar, T.; Bhatt, A.; Gurumoorthy, B.; Chakrabarti, A.: *Indoor positioning of metal parts by fingerprinting using passive RFID*. Procedia CIRP, Volume 88, p. 60-63, 2020.
- [HB13] Hofmann, E.; Bachmann, H.: *Behältermanagement in der Praxis: State-of-the-Art und Entwicklungstendenzen bei der*

Steuerung von Ladungsträgerkreisläufen. Deutscher Verkehrs-Verlag, 2013.

- [HS19] Huang, S.; Shi, Z.H.: *An Application of Autonomous Learning Multimodel System for Localization in Industrial Warehouse Storage Rack*. 2019 18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA), 2019, p. 519-522.
- [IKN19] Islam, B.; Islam, M. T.; Kaur, J.; Nirjon, S.: *LoRaIn: Making a Case for LoRa in Indoor Localization*. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pp. 423-426, 2019.
- [Ker11] Kern, C.: *RFID für Bibliotheken*. Heidelberg: Springer, 2011.
- [LCLC+20] Li, Z.; Chen, X.; Li, X.; Cai, J.; He, Y.; Xu, H.: *Design of Ultra-Wideband Localization System Based on Optimized Time Difference of Algorithm*. IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering / Volume 15, Issue 8, p. 1176-1182, 2020.
- [LYK19] Lam, T. C. Y.; Yew, S. S. L.; Keoh, S. L.: *Bluetooth Mesh Networking: An Enabler of Smart Factory Connectivity and Management*. 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2019, pp. 1-6.
- [MAL18] Mun, S.; An, J.; Lee, J.: *Robust Positioning Algorithm for a Yard Transporter Using GPS Signals with a Modified FDI and HDOP*. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing, 19(8), 1107-1113, 2018.
- [MBZ20] Moselhi, O.; Bardareh, H.; Zhu, Z.: *Automated Data Acquisition in Construction with Remote Sensing Technologies*. Applied Sciences, 2020, 10(8), 2846.
- [ONB06] Overmeyer, L.; Niemann, B.; Baum, M.: *Aufbau von Fahrerlosen Transportsystemen durch eine dezentrale Datenstruktur*. Logistics Journal, Vol. 2006, 2006.
- [Sch18] Schroeer, G.: *A Real-Time UWB Multi-Channel Indoor Positioning System for Industrial Scenarios*. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2018, pp. 1-5.
- [Ste11] Steinbauer, C. M. T.: *Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage*. München, 2011.
- [SYSF+20] Shaohua, H.; Yu, G.; Shanshan, Z.; Falin, W.; Weiguang, F.: *A real-time location system based on RFID and UWB for digital manufacturing workshop*. Procedia CIRP, Volume 63, 2020.
- [TNWJ+20] Teizer, J.; Neve, H.; Li, H.; Wandahl, S.; König, J.; Ochner, B.; König, M.; Lorsche, J.: *Construction resource efficiency improvement by Long Range Wide Area Network tracking and Monitoring*. Automation in Construction, Volume 116, 2020.
- [VEM19] Vojdani, N.; Erichsen, B.; Mönk, P.: *Verfahren und Technologien zur Positionsbestimmung von unbegleiteten Trailern in RoRo-Terminals*. Logistics Journal, Proceedings, Vol. 2019, 2019.
- [VL18] Vojdani, N.; Lück, T.: *Intelligente Überwachung mobiler Objekte in Seehäfen*. Internationales Verkehrswesen (70)1, 2018.
- [Wur20] Wurms, G.: <https://www.infsoft.com/de/blog/bluetooth-5-1-direction-finding-mit-angle-of-arrival>. 2020. Abrufdatum: 20.04.2021.
- [WXVN20] Wei, F.; Xiang, F.; Verhoeven, S.; Noche, B.: *Entwicklung eines intelligenten Logistik- und Bestandsmanagementsystems auf Basis von Internet der Dinge Technologien*. Logistics Journal, Proceedings, Vol. 2020, 2020.

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Patrick Drechsler, M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de