

---

## Indoor-Navigation ermöglicht den Einsatz neuer Technik für Mensch und Maschine

---



### Zusammenfassung

---

Die Indoor-Navigation gewinnt mit der steigenden Digitalisierung und Automatisierung von Unternehmensprozessen stetig an Bedeutung. Besonders im Bereich von autonomen Maschinen, wie beispielsweise frei beweglichen und selbst navigierenden Transportsystemen in der Intralogistik oder Servicerobotern, hat sich die Technik aufgrund der steigenden Anforderungen enorm weiterentwickelt. Die Technologien eröffnen Unternehmen neue Möglichkeiten, um Arbeitsprozesse zu verbessern und dem steigenden Druck durch den internationalen Markt standzuhalten. Neben dem Einsatz in Maschinen wird auch für den Menschen die Indoor-Navigation zunehmend interessanter. Besonders in großen Gebäuden, wie zum Beispiel Kaufhäusern oder Flughäfen, können durch Indoor-Navigation Zielorte schneller gefunden und somit der Mensch unterstützt werden.

Aufgrund der verschiedenen Anwendungsgebiete mit ihren spezifischen Anforderungen sind im Laufe der Zeit verschiedene Indoor-Navigationssysteme entstanden, wie zum Beispiel die Navigation per WLAN, Bluetooth oder Kamerasystem. Die Art der Navigation hängt maßgebend von der benötigten Genauigkeit und den zur Verfügung stehenden Mitteln ab. Das nachfolgende Whitepaper erklärt die Grundlagen der Indoor-Navigation und zeigt verschiedene Techniken mit Anwendungsbeispielen auf.

## Einleitung

---

Die Navigation beschreibt im Allgemeinen das Planen und Begleiten einer sicheren Route zwischen Start- und Zielpunkt. Die Grundlage dafür bildet die Bestimmung der aktuellen Position und des Ziels sowie ein Verfahren, mit dem eine Route zwischen diesen beiden Positionen ermittelt werden kann. Der Mensch führt die Grundlagen der Navigation automatisch aus, indem er sich selbst in seine Umgebung einordnet und basierend auf seinem Wissen zu einem Zielort geht. Diese Fähigkeit ist jedoch begrenzt, da ab einer bestimmten Entfernung zum Ziel oder in einer unbekanntenen Umgebung kein Wissen über die aktuelle Position oder den Weg zum Ziel bekannt ist. Hier unterstützen externe Hilfen, wie zum Beispiel Karten oder das Global Positioning System (GPS) den Menschen dabei, die Navigation auszuführen. In der heutigen Zeit ist die Navigation über GPS weit verbreitet, da die Technik in nahezu jedem Smartphone oder Auto verbaut ist. Der Vorteil für den Menschen ist hierbei, dass er sich zum Beispiel bei einer Reise im Vorhinein keinerlei Gedanken über den Weg zum Ziel machen muss.

Der Nachteil der Navigation über GPS ist die Beschränkung auf den Outdoor-Bereich. Es muss ein ständiger Kontakt zwischen dem GPS-Empfänger und den Satelliten vorhanden sein. Dies ist innerhalb der meisten Gebäude nicht gegeben. Um dem Menschen die Annehmlichkeiten aus dem Outdoor-Bereich dennoch zu ermöglichen, wurden Indoor-Navigationssysteme entwickelt. Einsatz finden diese Systeme in großen Gebäuden wie Flughäfen, Museen, Krankenhäusern oder Einkaufszentren. Weiterhin ermöglicht die Indoor-Navigation den Einsatz von neuen Techniken, wie zum Beispiel Augmented Reality. Hierbei wird die Realität durch virtuelle Informationen erweitert. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das System weiß, wo sich der Anwender befindet.

Auch im Bereich der Robotik besitzt das Thema Indoor-Navigation mittlerweile einen großen Stellenwert. Roboter sollen in Zukunft nicht mehr ortsgebunden eingesetzt werden, sondern stattdessen in der Lage sein, in einem freien Raum zu arbeiten. Ein Beispiel hierfür sind Serviceroboter (siehe Bild 1), die automatisch Gebäudebereiche säubern oder Dienstgänge übernehmen. Die Voraussetzung hierfür ist eine sichere Navigation innerhalb von Gebäuden.



Bild 1: Staubsaugerroboter mit eingebauter Indoor-Navigation

## Technische Beschreibung

Die Indoor-Navigation wird in verschiedenen Bereichen sowohl in der Industrie, an öffentlichen Plätzen oder für den privaten Bereich verwendet. Je nach Anwendungsgebiet und Navigationsaufgabe unterscheiden sich die verwendeten Systeme voneinander. Grundsätzlich kann zwischen zwei Navigationsfeldern unterschieden werden: Bei dem ersten Feld geht es um die Navigation von einem Start- zu einem Zielpunkt, wie es aus dem Outdoor-Bereich, wie beispielsweise von Google Maps bekannt ist. Dieses System wird im Folgenden als *absolute Navigation* bezeichnet. Der Nutzen besteht darin, möglichst effizient und sicher eine Route zum Zielpunkt zu generieren. Ein Beispiel hierfür ist die Indoor-Navigation in Kauf- oder Krankenhäusern.

Die zweite Methode wird als *relative Indoor-Navigation* bezeichnet und beschäftigt sich mit Umgebungen, von der keinerlei Informationen vorhanden sind. Dies kommt beispielsweise bei Staubsaugerrobotern zum Tragen, die autonom eine unbekannte Umgebung reinigen sollen. Der Ansatz bei dieser Art von Indoor-Navigation ist es, eine Karte aus der Umgebung zu generieren und basierend daraus, Routen für die Navigation zu erstellen. Dieses Verfahren ist im Gegensatz zum Ersten weniger zielgerichtet, da zu Beginn keine Informationen bereitstehen. Dafür kann sie ohne externe Hardware und überall eingesetzt werden und ist somit nicht ortsgebunden. Eine Übersicht zu den gängigen Indoor-Navigationsmethoden zeigt Bild 2.

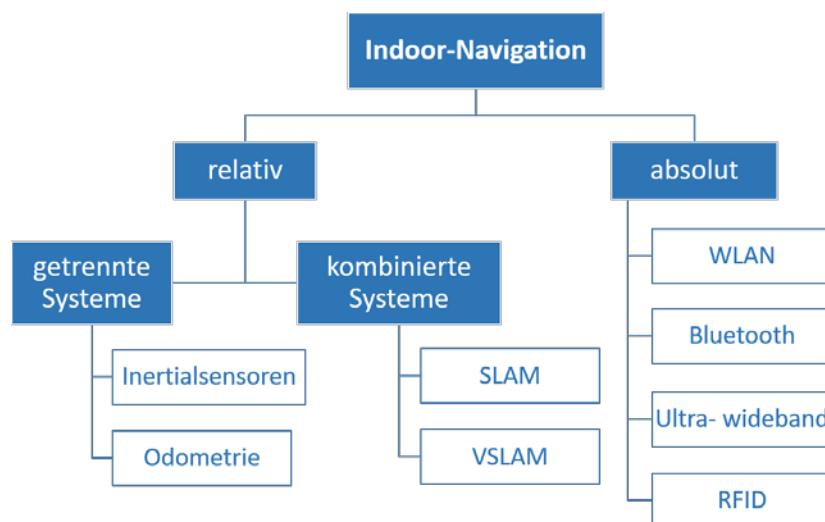


Bild 2: Übersicht Indoor-Navigationsmethoden

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden die beiden Systeme näher beleuchtet und Beispiele vorgestellt.

### Absolute Navigation

Die absolute Navigation basiert darauf, dass die Umgebung in der navigiert werden soll, bereits als Karte verfügbar ist. Über externe Sensoren wird die aktuelle Position auf dieser Karte bestimmt. Anschließend wird das Ziel auf der Karte angegeben und eine Software berechnet auf Basis der angegebenen Rahmenbedingungen (beispielsweise schnellste Route, kürzeste Route, Route ohne Treffen etc.) eine Route zwischen den beiden Punkten.

Die Technik der Positionsbestimmung basiert auf Triangulation oder Trilateration. Hierfür müssen gleichzeitig mehrere Sendequellen mit einem Empfänger verbunden sein. Anhand von Entfernungs- oder Winkelmessungen zwischen den Quellen und dem Empfänger kann anschließend die aktuelle Position bestimmt werden. Das Prinzip hinter dieser Technik wird auf Bild 3 dargestellt.

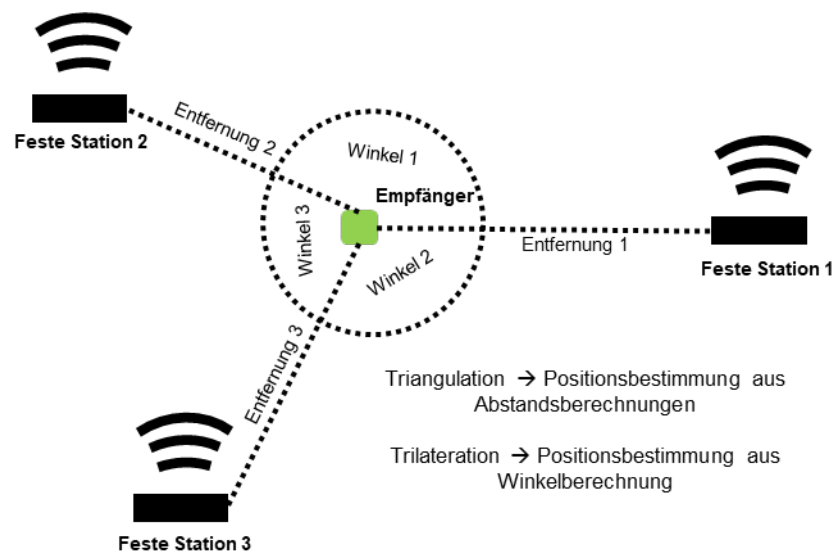


Bild 3: Positionsbestimmung über Triangulation und Trilateration

Im Folgenden werden verschiedene Beispiele für diese Navigationsart gegeben.

### Indoor-Navigation über WLAN und Bluetooth

Eine weit verbreitete Indoor-Navigationsmethode ist die Navigation über das WLAN-Signal. Hierfür wird die Signalstärke zu verschiedenen WLAN-Zugangspunkten gemessen und basierend darauf die Position bestimmt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass in den meisten Gebäuden eine Vielzahl von WLAN-Quellen vorhanden ist. Somit ist die „Infrastruktur“ bereits gegeben. Der Anwender benötigt für die Nutzung dieser Technik ein WLAN-fähiges Handy und eine entsprechende Software, die für eine Routenberechnung geeignet ist. Die Genauigkeit dieser Technik liegt bei 5 bis 15 Metern. Das bedeutet, sie ist für den Einsatz mit Maschinen nur begrenzt geeignet.<sup>1</sup>

Ein Anwendungsbeispiel für die Indoor-Navigation per WLAN ist das Museum „Industriekultur“ in Nürnberg. Hier wird ein WLAN-basiertes Navigationssystem angeboten, das die Führung durch das Museum unterstützt und verschiedene Sonderfunktionen bietet.<sup>2</sup>

Die Navigation mit Bluetooth funktioniert analog zu der WLAN-Variante. Es wird die Signalstärke zu verschiedenen Bluetooth-Sendestationen gemessen und basierend darauf die Position bestimmt. Die Sendestationen sind hierbei jedoch nicht so verbreitet wie WLAN-Quellen. Somit ist es notwendig, eine eigene Bluetooth-Struktur mit sogenannten Beacons aufzubauen. Beacons sind kleine batteriebetriebene Geräte, die entsprechende Signale

<sup>1</sup> [www.infsoft.de/technologie/sensorik/wlan](http://www.infsoft.de/technologie/sensorik/wlan), Abgerufen am 28. Februar 2018

<sup>2</sup> [www.museen.nuernberg.de/museum-industriekultur/angebote/audioguides](http://www.museen.nuernberg.de/museum-industriekultur/angebote/audioguides), Abgerufen am 28. Februar 2018

senden (siehe Bild 4). Je nach Typ kann die Batterielebensdauer bis zu acht Jahre betragen. Werden diese Beacons alle 7 bis 10 Meter aufgestellt, lässt sich eine Positioniergenauigkeit von 1 bis 3 Meter erreichen. Dieses System ist somit genauer als die WLAN-Variante, erfordert aber auch mehr Aufwand für die Implementierung.<sup>3</sup>



Bild 4: Bluetooth Beacon

Ein Beispiel für den Einsatz von Bluetooth-Navigation im Indoor-Bereich zeigt der Hauptbahnhof in Zürich. Hier wurden 1.200 Beacons auf einer Fläche von 370.000 Quadratmetern platziert, die eine Navigation innerhalb des Bahnhofs erlauben.<sup>4</sup>

### Ultra-wideband

---

Ein weiterer Vertreter für die absolute Navigation ist die Ultra-wideband Technik. Sie wird vorwiegend in der Industrie eingesetzt, da sie Genauigkeiten von 10 bis 30 Zentimeter abbilden kann. Es wird eine Sendequelle mit einer Frequenzbandbreite von bis zu 500 Megahertz verwendet, wodurch eine höhere Präzision und Robustheit gegenüber Interferenzen erreicht werden kann. Die Technik zur Positionsbestimmung basiert hier ebenfalls auf Trilateration. Der Nachteil dieser Technik ist der hohe Preis für die Implementierung der Hardware.<sup>5</sup>

### Relative Navigation

---

Bei der relativen Navigation ist die Position in der Umgebung zu Anfang nicht bekannt. Über Sensoren wird die Umwelt während der Bewegung aufgenommen. Eine Software berechnet aus dem zurückgelegten Weg und den Umgebungsaufnahmen eine Karte, die ein virtuelles Abbild der Umgebung darstellt.

---

<sup>3</sup> [www.infsoft.de/technologie/sensorik/bluetooth-low-energy-beacons](http://www.infsoft.de/technologie/sensorik/bluetooth-low-energy-beacons), Abgerufen am 28. Februar 2018

<sup>4</sup> [www.indoornavigation.de/wissen/wie-nutzt-man-beacons-zur-indoor-navigation](http://www.indoornavigation.de/wissen/wie-nutzt-man-beacons-zur-indoor-navigation), Abgerufen am 28. Februar 2018

<sup>5</sup> [www.infsoft.de/technologie/sensorik/ultra-wideband](http://www.infsoft.de/technologie/sensorik/ultra-wideband), Abgerufen am 28. Februar 2018

Der Vorteil dieser Navigationsvariante ist die Autonomie des Systems. Es werden keine externen Sensoren benötigt und die Anwendung kann ohne Vorbereitung in jeder Umgebung eingesetzt werden. Der Nachteil liegt darin, dass die Erstellung der Karte Zeit benötigt und bei der Rekonstruktion der Umgebung nicht unbedingt die schnellste Route genutzt wird. Weiterhin ist das System hinsichtlich der Kartengröße auf einen internen Speicher begrenzt.

### Lokalisierung und Mapping

---

Die relative Navigation besteht aus den Komponenten *Lokalisierung* und *Mapping*. Die Lokalisierung beinhaltet das Messen oder Berechnen der zurückgelegten Strecke in Bezug auf den Startpunkt. Mapping bedeutet in diesem Zusammenhang das Zusammenfügen von Einzelscans zu einer Umgebungskarte. Beide Schritte müssen parallel zueinander ausgeführt werden, da das Mapping nur funktioniert, wenn die relative Verschiebung zwischen den Einzelaufnahmen bekannt ist.

Bei der technischen Umsetzung der relativen Navigation werden je nach Anwendungsfall verschiedene Systeme zur Positionsbestimmung verwendet. Für die Indoor-Navigation eines auf dem Boden fahrenden Fahrzeugs eignet sich die Odometrie. Unter der Bedingung, dass kein Schlupf beim Fahren auftritt, kann aus der Drehbewegung der Räder die zurückgelegte Strecke berechnet werden. Soll die Navigation auf einem fliegenden Objekt, wie beispielsweise einer Drohne, durchgeführt werden, kommen für die Wegberechnung Inertialsensoren (Beschleunigungssensoren) zum Einsatz.

Parallel zu der Positionsbestimmung werden über Sensoren, wie beispielsweise Laserscanner oder Kameras, Umgebungsmessungen durchgeführt. Auch hier eignen sich die unterschiedlichen Systeme für verschiedene Anwendungsfälle. Laserscanner werden beispielsweise im Bereich autonomes Fahren eingesetzt, da sie sehr zuverlässig funktionieren und industriell ausgereift sind. Werden für die Navigation oder die Erstellung einer Karte jedoch Farbwerte benötigt, kommen Kameras zum Einsatz. Der Nachteil von Kameras ist die hohe zu berechnende Datenmenge im Vergleich zum Laserscan. Über eine Software werden während der Bewegung die Daten aus der Positionsbestimmung und der Umgebungsmessung zusammengebracht und daraus eine Umgebungskarte erstellt.

Neben den Anwendungen, die Lokalisierung und Mapping über getrennte Systeme ausführen, gibt es bereits Ansätze, das Lokalisieren anhand der Umgebungsdaten durchzuführen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der SLAM-Algorithmus. SLAM steht für Simultaneous Localization and Mapping. Der Algorithmus orientiert sich an markanten Punkten aus der Aufnahme der Umgebung und erkennt diese in darauffolgenden Aufnahmen wieder. Anhand der wiedererkannten Punkte ist der Algorithmus in der Lage, den zurückgelegten Weg zwischen den Einzelaufnahmen zurückzuverfolgen. Beispielhaft ist dies auf Bild 5 dargestellt.

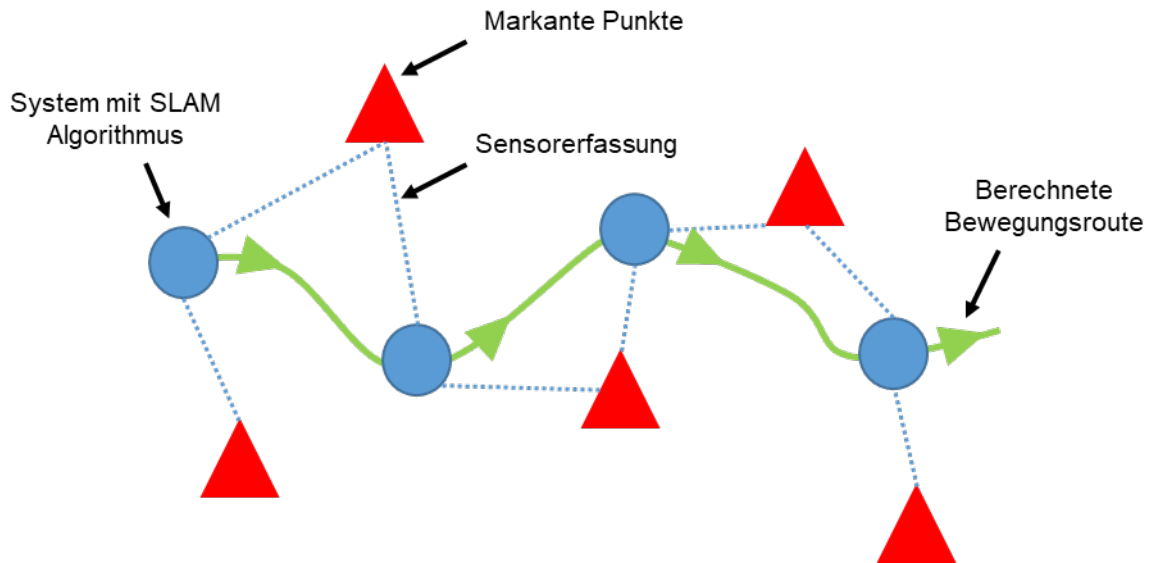


Bild 5: Lokalisierung und Mapping mittels SLAM-Algorithmus

Aus der Berechnung des Weges erstellt der SLAM-Algorithmus über Mapping simultan eine Umgebungskarte. Dieses System besitzt den Vorteil, dass kein gesondertes System für die Positionsbestimmung benötigt wird. Als Nachteil kommt der erhöhte Berechnungsaufwand zum Tragen, da dieser höher ist als beim alleinigen Mapping. Ein Beispiel für den Einsatz von SLAM bietet der Staubsaugerroboter von XIAMO MI.<sup>6</sup> Dieser verfügt über einen Laserscanner, mit dem zuerst die Außenkonturen des Raumes und basierend darauf eine Route für das Säubern erstellt wird. Ein weiteres Anwendungsbeispiel wird von dem Unternehmen doks. innovation GmbH betrieben. Hierbei wird über eine 3D-Kamera und einem SLAM-Algorithmus eine automatisierte Inventur von Hochregallagern betrieben.<sup>7</sup>

Eine Alternative zu SLAM bietet der VSLAM-Algorithmus. Der Unterschied zu SLAM besteht darin, dass für die Berechnung 2D-Bilddaten verwendet werden. Diese Technik wird beispielsweise in Kombination mit einer 2D-Kamera eingesetzt.

Die Genauigkeit der relativen Indoor-Navigationssysteme hängt von der verwendeten Sensorik und den zu Grunde liegenden Berechnungsalgorithmen ab. Im Bereich der Kartographie, wie sie zum Beispiel die Firma Dotscene GmbH durchführt, können laut Dotscene Genauigkeiten bis zu 1 Zentimeter erreicht werden.

Eine weitere interessante Anwendung von Indoor-Navigation ist der Einsatz im Bereich Augmented Reality. Hierbei wird der Standort eines Anwenders innerhalb eines Gebäudes erkannt und mit einer virtuellen Datenbank abgeglichen. So ist es möglich, dem Anwender standortbezogen Zusatzinformationen live zu überspielen. Diese Informationen können beispielsweise für Sicherheitszwecke eingesetzt werden, indem der Mitarbeiter eine Mitteilung bekommt, sobald eine Maschine sich in Betrieb befindet oder er unter einem Kran steht.

<sup>6</sup> [www.xiaomi-mi.de/mi-smart-home/xiaomi-mijia-robot-vacuum-cleaner-white](http://www.xiaomi-mi.de/mi-smart-home/xiaomi-mijia-robot-vacuum-cleaner-white), Abgerufen am 28. Februar 2018

<sup>7</sup> [www.doks-innovation.com/solutions/inventary](http://www.doks-innovation.com/solutions/inventary), Abgerufen am 28. Februar 2018

## Fazit

---

Das Thema Indoor-Navigation gewinnt nicht nur für den privaten Bereich, sondern auch für die Industrie zunehmend an Relevanz. Für autonome Systeme ist eine eigenständige Navigation unerlässlich. Aus diesem Grund existieren aktuell zahlreiche Projekte, die sich mit diesem Thema beschäftigen. Es gibt zum Beispiel bereits Ansätze, Indoor-Navigation über RFID-Chips zu realisieren, um die Produktion mit der Navigation zu verknüpfen.<sup>8</sup> Die Entwicklung von neuen Indoor-Navigationsmethoden ist dabei stets bemüht, vorhandene Techniken aus der Anwendungsumgebung zu integrieren.

## Kontaktdaten

---

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH  
Hollerithallee 6 | 30419 Hannover

☎ +49 (0)511 27976-0 | @ info@iph-hannover.de | 🌐 www.iph-hannover.de

---

<sup>8</sup> [www.indoornavigation.de/wiki/indoor-positionsbestimmung-mit-rfid-radio-frequency-identification](http://www.indoornavigation.de/wiki/indoor-positionsbestimmung-mit-rfid-radio-frequency-identification),  
Abgerufen am 28. Februar 2018