

Anforderungen und Fähigkeiten gegenwärtiger Stapler – Lokalisierung

DIPL.-ING. FRANK HOHENSTEIN UND PROF. DR.-ING. W. A. GÜNTNER

*Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München*

ZUSAMMENFASSUNG: Dieser Beitrag stellt die Notwendigkeit zur Lokalisierung des Gabelstaplers im innerbetrieblichen Transportprozess kurz dar und erläutert die Möglichkeiten zur Systemgestaltung entsprechender Echtzeit-Lokalisierungssysteme (Real Time Location System RTLS). Nach der Diskussion der Anforderungen an ein Echtzeit-Lokalisierungssystem werden aktuell am Markt verfügbare Systeme anhand ihrer Fähigkeiten für die Stapler-Lokalisierung strukturiert. Sich gegenüber den Anforderungen aus den ermittelten Fähigkeiten der Systeme ergebender Handlungsbedarf wird anhand laufender Forschungsaktivitäten des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) an der Technischen Universität München erläutert.

1 EINLEITUNG

Wachsende Anforderungen an den Transportprozess in der Intralogistik erfassen den Gabelstapler in gleichem Maße wie alternative Transportmittel im innerbetrieblichen Transportsystem.

Die Anforderungen betreffen zum Einen den Bedarf zum Tracking & Tracing der Transportprozesse um im Sinne von Real Time Enterprises (RTE) in Echtzeit diese Prozesse überwachen und steuern zu können. Die hierzu notwendige Steuerungsintelligenz findet sich in anderer Ausprägung auch in autonomen (Transport-) Systemen, deren Betrieb auf Sensorknoten und deren Zustandsinformationen fußen. Das Ziel ist es richtige und fehlerhafte Zustände zu erkennen und die Systeme zu befähigen selbststeuernd reagieren zu können. Bestandteil dieser Zustandsinformationen im innerbetrieblichen Transportprozess ist auch die Position des Gutes und des zugehörigen Transportmittels.

Darüber hinaus sieht sich der Gabelstapler mit dem Bedarf der Zustandserkennung „Ort“ im Besonderen konfrontiert. Der Gabelstapler ist ein hoch flexibles Transportmittel auf Kosten eines hohen Anteils manueller Tätigkeiten, in denen ein hohes Fehlerpotential inhärent ist [WIL-06]. Ferner fordern Theorien des Lean Thinking Verschwendung zu vermeiden (Muda-Prinzip), worunter gerade auch die Vermeidung des Entstehens von Fehlern auf Grund manueller Handhabung zu verstehen ist. Analysen u.a. am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München zeigen hier die Relevanz im innerbetrieblichen Transportprozess bei der Warenbereitstellung um den richtigen Ort der Ware zu gewährleisten. Ergänzend haben Prozessstudien einen hohen Anteil manueller Tätigkeiten zur Lagerplatzbestimmung beim innerbetrieblichen Warenumsatz mit dem Gabelstapler ergeben, der durch eine automatische Lagerplatzerkennung zu reduzieren ist.

Auf Grund geschildeter Begebenheiten stellt sich die Frage nach den detaillierten Anforderungen an ein System zur kontinuierlichen Lokalisierung des Gabelstaplers. Diese Anforderungen sind durch eine abgestimmte Systemgestaltung und Wahl der Lokalisierungstechnologien zu bewältigen (vgl. Abbildung 1).

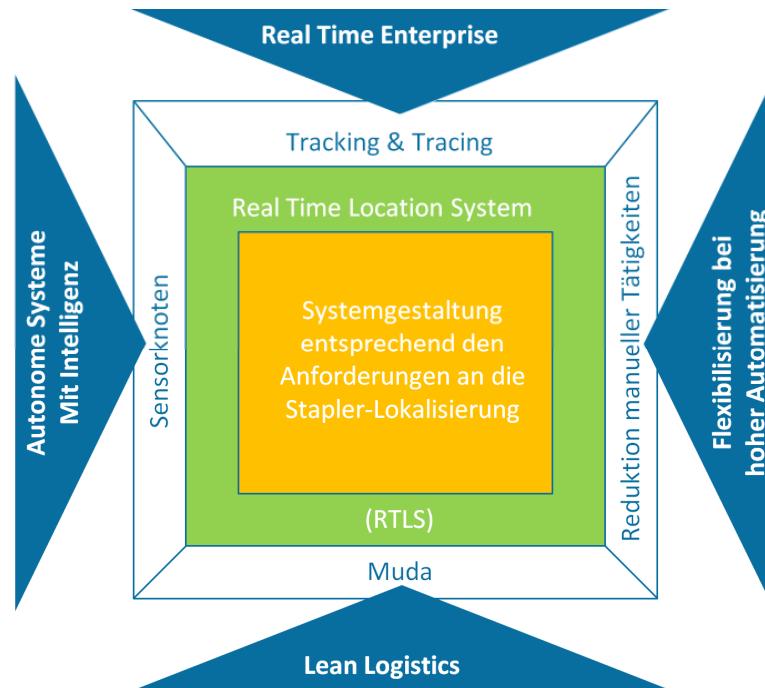


Abbildung 1: Aktuelle Trends in der Logistik mit Einfluss auf die Stapler-Lokalisierung

Das Ziel dieses Beitrages ist es einen Überblick zu verfügbaren Systemen für die Stapler-Lokalisierung im innerbetrieblichen Transportprozess zu erarbeiten. Hierzu stellt dieser Beitrag die Fähigkeiten aktueller Lokalisierungssysteme im Kontext der Anforderungen an die Stapler-Lokalisierung dar. Dieser Überblick soll auch eine Orientierung für die vielfältigen Ansätze in der Gestaltung des Lokalisierungssystems und für die Wahl der Lokalisierungstechnologie geben.

2 KONZEPT EINER REFERENZBASIERTEN STUDIE

Um eine Bestandsaufnahme und einen Ausblick auf die Zukunft der Stapler-Lokalisierung tätigen zu können, wird auf die in der Marktforschung etablierte Methode der referenzbasierten Studie zurückgegriffen [Rog-92], die ein Vertreter der Sekundärforschung ist. Diese wiederum befasst sich mit der Analyse und Auswertung von bereits erhobenen Daten [Koc-04]. Die für diesen Beitrag verwendeten Daten basieren überwiegend auf Fachmedien, Patenten, Produktbeschreibungen und Online-Recherchen, die zu einer strukturierten Datensammlung mit 44 Lokalisierungssystemen und jeweils ca. 130 Attributen zusammengeführt werden. Die Strukturierung der Daten basiert auf Erkenntnissen aus Forschungstätigkeiten der Autoren am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München, die in den beiden folgenden Kapiteln in ihren Grundzügen dargestellt werden. In der Datensammlung werden 25 Systeme als für die Stapler-Lokalisierung grundsätzlich geeignet identifiziert. Diese Systeme bilden die Grundlage dieses Fachbeitrages für die weitere Diskussion.

3 GESTALTUNG EINES LOKALISIERUNGSSYSTEMS

Lokalisierungssysteme bestehen aus einzelnen Modulen, deren jeweilige Kernfunktion im folgenden Technologieneutral vorgestellt wird. Die räumliche Anordnung der Module entspricht festen Mustern, die in der Form von Architekturen erläutert werden. Abschließend findet eine Differenzierung der Lokalisierungssysteme

hinsichtlich der Anzahl verwendeter Lokalisierungstechnologien statt, die als Ansätze der Lokalisierungssysteme diskutiert werden.

3.1 MODULE EINES LOKALISIERUNGSSYSTEMS

Die Kernfunktionen eines Lokalisierungssystems, d.h. insbesondere auch von Real Time Location Systemen (RTLS), lassen sich in folgende vier Module (vgl. Abbildung 2) aufteilen (in Anlehnung an [MAL-09] , [BEN-08] und [ISO-08]):

- Location Tag**
 Ein Tag kennzeichnet ein Objekt und verleiht diesem damit eine eindeutige Identität. In zahlreichen RTLS kennzeichnet der Tag Referenzpositionen, d.h. ortsfeste Positionen (z.B. RFID-Transponder im Boden). In weiteren RTLS dient der Tag dazu, dem zu lokalisierenden Objekt eine eindeutige Identität zu geben (z.B. RFID-Transponder am Gabelstapler).
- Location Sensor**
 Der Location Sensor misst eine Messgröße unter der Anwendung eines Messprinzipes mit dem Ziel der Positionsbestimmung. Die Messgröße wird zwischen dem Tag und dem Location Sensor ausgetauscht (bi-direktionales Signal) oder vom Tag an den Location Sensor übermittelt (uni-direktionales Signal). Die erzeugten Messdaten haben noch keinen direkten Aussagegehalt hinsichtlich der Position, die als Information gewünscht wird.
- Location Engine**
 Die Location Engine führt bei Bedarf eine Vorverarbeitung der Messdaten des Location Sensors durch, um anschließend eine Auswertung der Messdaten unter Anwendung von Positionsbestimmungsverfahren (z.B. Trilateration) durchzuführen. Dadurch wird die Position des betrachteten Objektes bestimmt, bzw. werden die Messdaten in eine Positionsinformation überführt.
- Location Application**
 Die Location Application nutzt die ermittelte Position um dem Anwender diese Information mit einem Zusatznutzen zur Verfügung zu stellen. Hierunter fällt auch die Aufbereitung der Positionsinformation mit dem Ziel, diese an übergelagerte Systeme (z.B. Warehouse Management Systeme oder Staplerleitsysteme) weiterzugeben.

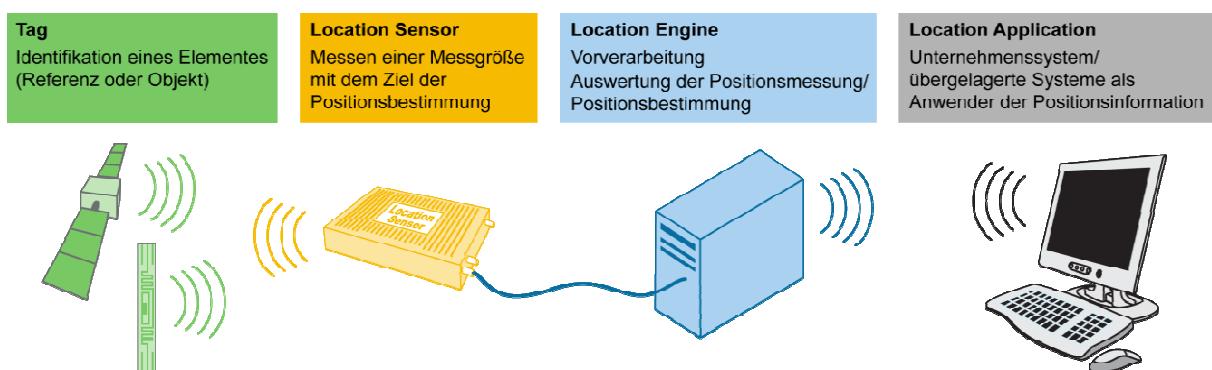


Abbildung 2: Module eines Lokalisierungssystems und deren spezifische Funktion

3.2 ARCHITEKTUR EINES LOKALISIERUNGSSYSTEMS

Lokalisierungssysteme unterscheiden sich durch die Anordnung einzelner Module auf dem Lokalisierungsobjekt, z.B. dem Gabelstapler, und an einem Referenzpunkt in der Einsatzumgebung, d.h. der Infrastruktur. In der Literatur wird in diesem Kontext auch von Ortungsvarianten [LIU-07] oder Ortungsmethoden [STR-08] gesprochen. Gemeint ist jeweils der räumliche Aufbau des Lokalisierungssystems. Darum wird im weiteren Verlauf von der Architektur des Lokalisierungssystems gesprochen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick, wie einzelne Module eines Lokalisierungssystems im Transportsystem angeordnet werden können. Durch die zentrale oder dezentrale Anordnung der Location Engine kann zwischen den beiden Hauptvarianten der Fremd- und Eigenortung unterschieden werden. In dezentraler Anordnung fährt sie i.d.R. auf dem Lokalisierungsobjekt mit und ist für die Positionsbestimmung nur des einen Objektes zuständig. Wird die Location Engine jedoch zentral angeordnet, ist sie für die Auswertung der Messdaten zahlreicher Lokalisierungsobjekte zuständig und benötigt bei beweglichen Lokalisierungsobjekten eine drahtlose Kommunikationsanbindung an den Location Sensor. Diese beiden Varianten können jeweils weiter durch die Anordnung des Location Sensors und des Location Tags am Lokalisierungsobjekt, d.h. dem Gabelstapler, oder an Referenzpunkten differenziert werden.

Architektur			Location Engine	Location Sensor	Location Tag
remote positioning system	Fremdortung		zentral	Referenzpunkt	Lokalisierungsobjekt
indirect remote positioning system	indirekte Fremdortung		zentral	Lokalisierungsobjekt	Referenzpunkt
self positioning system	Eigenortung		dezentral	Lokalisierungsobjekt	Referenzpunkt
indirect self-positioning system	indirekte Eigenortung		dezentral	Referenzpunkt	Lokalisierungsobjekt

Tabelle 1: Varianten der Architektur eine Lokalisierungssystems (in Anlehnung an [LIU-07], [STR-08])

Die Location Application ist in Tabelle 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** nicht aufgeführt, da diese ortsunabhängig ist und somit flexibel angeordnet werden kann. Die Voraussetzung hierfür ist eine (drahtlose) Kommunikationsanbindung der Location Application an die Location Engine, damit Positionsergebnisse an die Location Application übermittelt werden können.

Auf diese theoretische Darstellung der Architekturvarianten aufbauend überführt Abbildung 3 diese in den Anwendungsfall einer Stapler-Lokalisierung im Innen- und Außenbereich von innerbetrieblichen Flächen. Auffallend ist bei der Eigenortung und der indirekten Fremdortung, dass Satelliten auch als Location Tag an einem Referenzpunkt verstanden werden. Insbesondere bei der satellitenbasierten Ortung (sog. Global Navigation Satellite Systems GNSS) mittels Global Positioning System (GPS) ist dies zutreffend, da jeder Satellit über eine eigene ID verfügt, die sog. Space Vehicle Number (SVN), und zugleich die Flugbahn der Satelliten zu jeder Zeit bekannt ist. Dadurch ist die Referenzposition zu jedem Zeitpunkt bestimmbar.

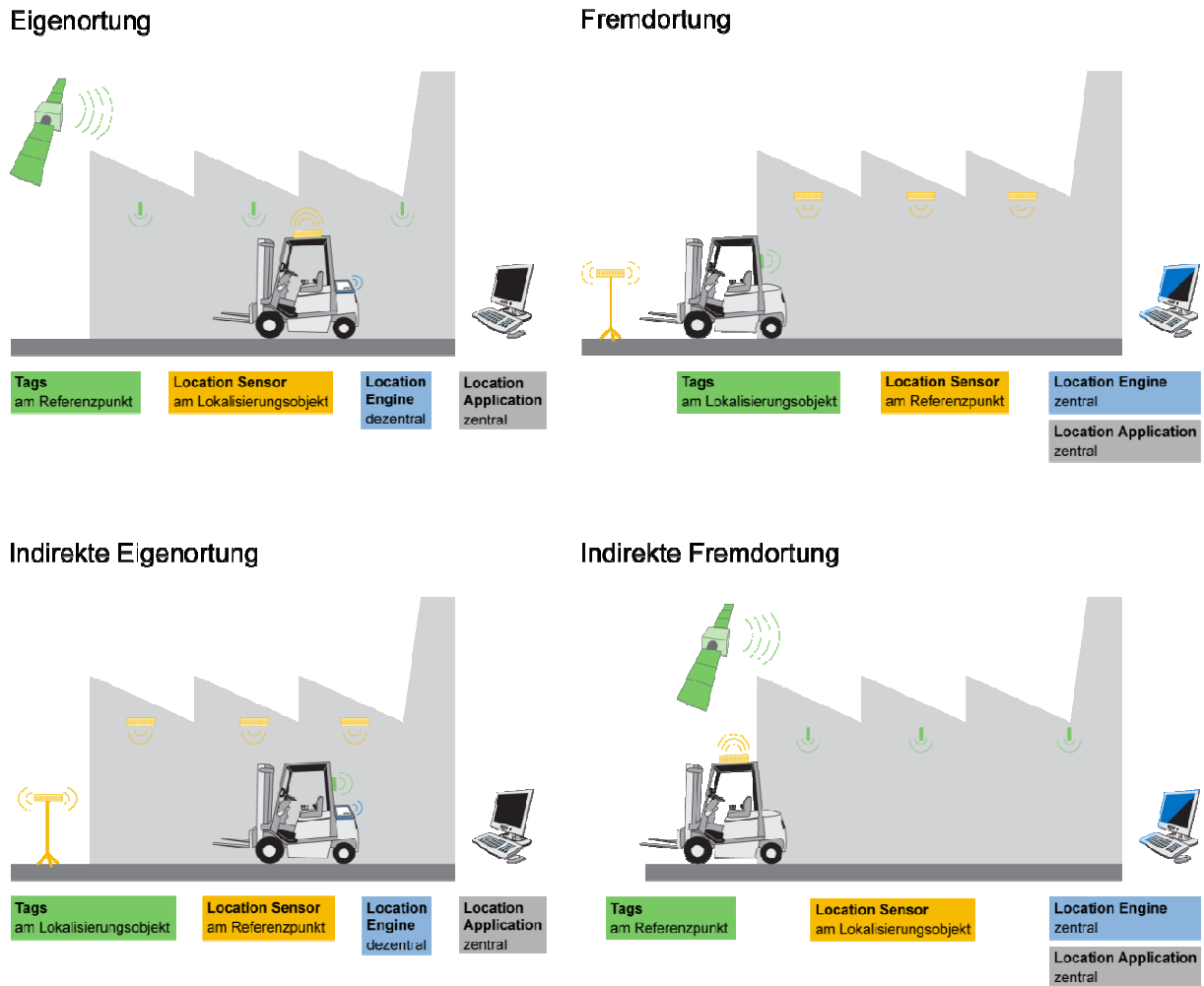


Abbildung 3: Varianten der Architektur eines Lokalisierungssystems am Beispiel der Stapler-Lokalisierung

3.3 ANSÄTZE EINES LOKALISIERUNGSSYSTEMS

Bei der Wahl eines Lokalisierungssystems stellt sich nicht nur die Frage der Systemarchitektur, wie sie vorhergehend diskutiert wird. Vielmehr ist mit der Identifikation des geeigneten Lokalisierungssystems auch die Wahl einer zutreffenden Anzahl an Lokalisierungstechnologien zur Lokalisierung eines Objektes von entscheidender Bedeutung. Hierbei werden zwei grundsätzliche Ansätze in Lokalisierungssystemen unterschieden, die sich anhand der Anzahl verwendeter Technologien zur Lokalisierung differenzieren: das Einsensor- gegenüber dem Multisensorsystem. Die Wahl des Ansatzes erfolgt in enger Abstimmung mit der konkreten Einsatzbedingung [MAL-09].

Jede Sensortechnologie verhält sich in seiner Einsatzumgebung anders auf Grund einer spezifischen Frequenz des Lokalisierungssignals, das in einer Wechselwirkung mit der Umgebung steht. Diese zeigen sich durch Signaldämpfungen, -absorptionen und -reflexionen. Der Ansatz eines Multisensorsystems ist es, die Schwächen einer einzigen Lokalisierungstechnologie durch die Ergänzung um eine oder mehrere weitere Sensortechnologien auszugleichen. Hierbei können entsprechende Sensortechnologien für sich autonom in einem jeweiligen Einsatzbereich (z.B. Innen- oder Außenbereich eines Lagers) betrieben werden, oder sie werden redundant zueinander betrieben und mittels einer Fehlerabschätzung zu einem gemeinsamen Positionsergebnis fusioniert (sog. Sensordatenfusion). Diesem Ansatz wird in der Theorie ein großes Potenzial zur Verbesserung der Genauigkeit, der Integrität und Kontinuität einer Positionsbestimmung bescheinigt [[WEN-07], [STR-08]].

Dieser Beitrag wird im weiteren Verlauf zwischen einem Einsensor- und einem Multisensorsystem hinsichtlich der Lokalisierungsfunktionalität eines Systems unterscheiden, um entsprechende theoretische Überlegungen in der Praxis nachvollziehen zu können.

4 ANFORDERUNGEN AN EINE STAPLER-LOKALISIERUNG

An Lokalisierungssysteme wird eine Vielzahl an Anforderungen gestellt, die für die Stapler-Lokalisierung im innerbetrieblichen Transportprozess nur schwer allgemeingültig zu beantworten sind. Ergänzend zu den grundsätzlichen Anforderungen hinsichtlich der Robustheit an solche Systeme gegen äußere Störungen, der Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit (vgl. [DOD-10]), führt Abbildung 4 Anforderungen auf, die sich insbesondere durch die Anwendung des Lokalisierungssystems im innerbetrieblichen, Gabelstapler-basierten Transportprozess ergeben. Dadurch, dass diese Anforderungen in ihrer detaillierten Ausprägung in hohem Maße von der einzelnen Anwendungsumgebung abhängig sind [MAN-09], wird dieser Beitrag keine abschließende Bewertung der am Markt verfügbaren Lokalisierungssysteme vornehmen, sondern vielmehr eine Einordnung und Strukturierung der Systeme zum Ziel haben, so dass im Ergebnis ihre Fähigkeiten zu erkennen sind.

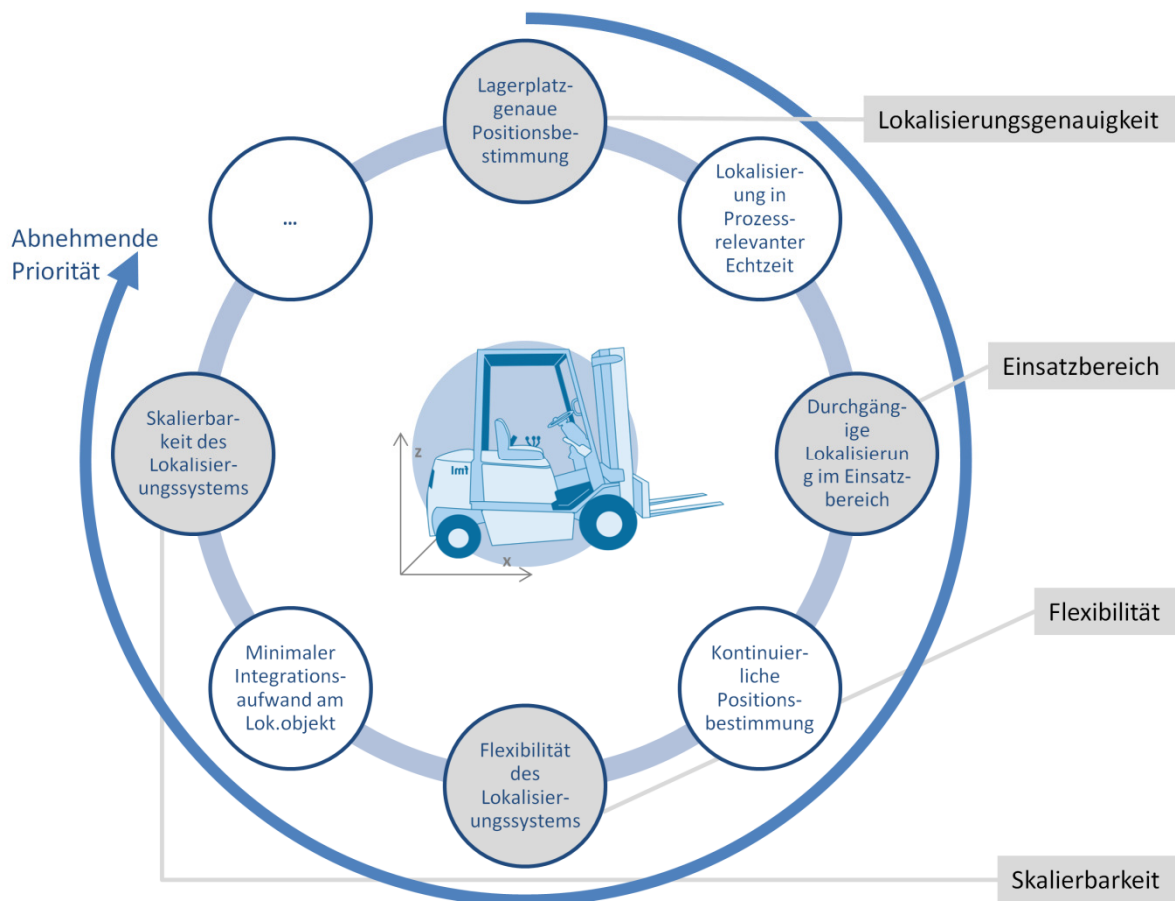


Abbildung 4: Spezifische Anforderungen an die Lokalisierung eines Staplers im innerbetrieblichen Transportprozess

Der Fokus wird in diesem Kapitel auf die Bildung und Erläuterung einer Taxonomie mittels folgender im weiteren Verlauf (Kapitel 0 bis 0) erläuterten Kriterien gelegt:

- Lokalisierungsgenauigkeit
- Einsatzbereich
- Flexibilität
- Skalierbarkeit

Entsprechend Abbildung 4 sind weiterführende Kriterien die Fähigkeit zur Positionsbestimmung des Objektes in prozess-relevanter Echtzeit und die Minimierung des Integrationsaufwandes für das Lokalisierungssystem am Lokalisierungsobjekt, d.h. in diesem betrachteten Fall am Gabelstapler. Diese beiden Kriterien werden mangels geeigneter Datenlage, die zum Teil durch aufwendige praktische Tests geschaffen werden müsste, nicht vertieft. Auf Grund der hohen Anzahl zu betrachtender Systeme ist dies in diesem Rahmen nicht durchführbar. Allerdings ist für die hier getätigte Auswahl der betrachteten Lokalisierungssysteme zwingend, dass die Systeme eine (quasi) kontinuierliche Positionsbestimmung ermöglichen. Dem entsprechend sind in dieser Diskussion keine Lokalisierungssysteme enthalten, die nur eine Positionsbestimmung oder vielmehr Aufenthaltsidentifikation an vorgegebenen diskreten Punkten (sog. Choke Points) im Transportprozess ermöglichen.

4.1 LOKALISIERUNGSGENAUIGKEIT

Nach Dodel stellt die Lokalisierungsgenauigkeit ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung des Gebrauchsnutzens eines Lokalisierungssystems dar [DOD-10]. Nicht nur dadurch bestimmt wird die Frage nach dem idealen Lokalisierungssystem sehr schnell an der Lokalisierungsgenauigkeit aufgehängt.

Die Lokalisierungsgenauigkeit wird durch einen Kreisdurchmesser um die angegebene Position (Soll-Wert) gegeben, der den Toleranzbereich für eine gemessene Position (Ist-Wert) bestimmt [EUR-98]. Dabei bezieht sich die Genauigkeitsangabe auf die horizontale xy-Ebene, auch wenn das Lokalisierungssystem die Position drei-dimensional in kartesischen xyz-Koordinaten erfasst.

Hierbei unterliegen die Angaben zur Lokalisierungsgenauigkeit einer Wahrscheinlichkeit von i.d.R. 95%, d.h. 95% der ermittelten Positionen liegen innerhalb des definierten Genauigkeitsbereichs.

In der Praxis zeigt sich häufig eine gewisse Ungenauigkeit in der Positionsbestimmung eines Gabelstaplers, da die Systeme nicht immer die Position der Gabelzinke betrachten, sondern statt ihrer den Fahrzeugmittelpunkt als Position bestimmen. Um eine indirekte Lokalisierung von Ladegütern durch eine direkte Lokalisierung des Transportmittels vorzunehmen, ist es allerdings entscheidend, dass die Anordnung des Gabelzinkenmittelpunkts zum Fahrzeugmittelpunkt eindeutig bestimmt ist. Sofern das System nicht fähig ist, diese durch einen Lagewinkel des Fahrzeugs im Raum zu bestimmen, ist keine genaue Lokalisierung von Gütern über die Lokalisierung des Gabelstaplers möglich. In der weiteren Betrachtung wird davon ausgegangen, dass eine bestimmte Anordnung besteht.

Abhängig von der gewünschten Anwendung und dem damit verbundenen Objekt, das (indirekt) lokalisiert werden soll, ergeben sich verschiedene quantitative Anforderungen an die Lokalisierungsgenauigkeit. Im Rahmen einer Nutzung der Lokalisierung des Transportmittels für die automatische Lagerplatzerkennung muss die geforderte Lokalisierungsgenauigkeit eine Unterscheidung benachbarter Lagerplätze ermöglichen, womit sich in der Regel eine Genauigkeit von mind. 50 cm im Paletten-Blocklager ergibt [GÜN-10]. Diese Anwendung der Stapler-Lokalisierung steht in der weiteren Diskussion dieses Beitrages im Vordergrund. Sollte jedoch eine Lokalisierung des Gabelstaplers erfolgen, um die Fahrauftragsdisposition zu optimieren, ist auch eine geringere Genauigkeit ausreichend. Hierbei geht es darum die Anfahrtswege zu optimieren und somit ist eine Unterscheidung des Lagergangs häufig ausreichend. Abbildung 5 gibt eine Orientierung zur erforderlichen Lokalisierungsgenauigkeit abhängig vom indirekt lokalisierten Objekt bei direkter Lokalisierung des Gabelstaplers.

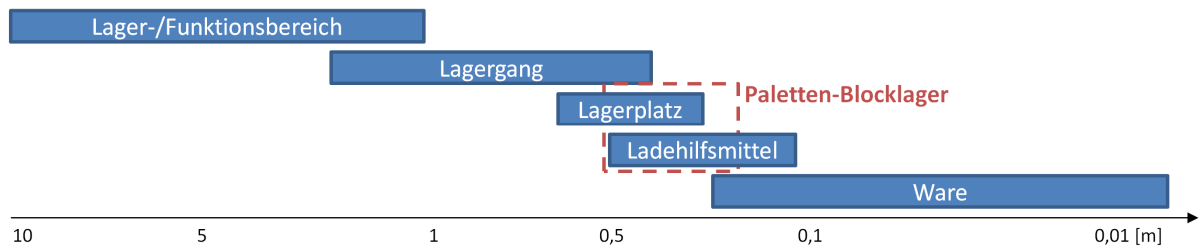


Abbildung 5: Erforderliche Lokalisierungsgenauigkeit für die indirekte Ortung von Objekten durch die direkte Lokalisierung des Gabelstaplers

4.2 EINSATZBEREICH

Dieser Artikel nimmt eine Einteilung der Systeme bezüglich des Einsatzbereiches in Außen- (Outdoor) und Innenbereich (Indoor) von Lagerflächen vor und arbeitet heraus, inwiefern ein System auch in beiden Einsatzbereichen ohne Leistungseinbuße einsatzfähig ist. Sollte grundsätzlich der Einsatz in beiden Bereichen möglich sein, jedoch die Leistungsfähigkeit in einem der beiden Bereiche deutlich besser sein, so wird dieser Einsatzbereich als Schwerpunkt gekennzeichnet.

Mit der Einteilung in den Innen- und Außenbereich von Lagern werden konträre klimatische Bedingungen unterschieden, die grundsätzlich unterschiedliche (Stör-)Einflüsse auf das Lokalisierungssignal und somit auf die bestimmte Position haben. Darüber hinaus wird hierdurch auch die zeitliche Beständigkeit von Umgebungsbedingungen unterschieden, die im Innenbereich eines Lagers im Verhältnis zeitlich stabiler sind, als es im Außenbereich auf Grund wetterbedingter Veränderungen zu beobachten ist. Hierbei ist zum Beispiel an den Kontrast zwischen winterlichem Frost und Niederschlag zu intensiver UV-Einstrahlung im Sommer zu denken.

Darüber hinaus ist die gewählte Unterscheidung des Einsatzbereiches zielführend, da insbesondere im Außenbereich auf eine globale Lokalisierungsinfrastruktur zur Positionsbestimmung des Transportmittels zurückgegriffen werden kann, die im Innenbereich nicht sicher verfügbar ist. Dies trifft vor allem für das Global Positioning System (GPS) und vergleichbare satellitengestützte Systeme zu [DOD-10].

Demnach steht der jeweilige Einsatzbereich für ein Bündel an charakteristischen Umgebungsbedingungen. Grundsätzlich ist in Einzelfällen auch eine weitere Differenzierung zwischen Funktionsbereichen (z.B. Produktion, Lager) und Bereichen mit spezifischen erhöhten Anforderungen (z.B. Tiefkühlager, Explosionsgefährdete Warenlager) denkbar.

4.3 FLEXIBILITÄT

Hinsichtlich des Kriteriums Flexibilität gibt es eine Vielzahl an Definitionen, die sich in Nuancen unterscheiden können. Dieser Beitrag stützt sich auf Westkämpers Definition zum Begriff der Flexibilität: sie beschreibt die Fähigkeit eines Systems sich an Änderungen seiner Ausprägung in einem prinzipiell vorgedachten Rahmen reversibel anzupassen [WIL-06].

Im Zusammenhang mit der Lokalisierung von Gabelstaplern im innerbetrieblichen Transportprozess hat dieses Flexibilitätsverständnis zwei Dimensionen. Zum einen geht es um die flächenmäßige Veränderung des durch das Lokalisierungssystem erschlossenen Bereichs, zum anderen um die Fähigkeit, auch andersartige Objekte neben dem Gabelstapler zu lokalisieren. Gerade im Kontext des Trends zu Real Time Enterprises ist zu erwarten, dass in Zukunft Positionsinformationen einer Vielzahl verschiedener Prozessteilnehmer (z.B. weitere Transportmittel, Werker, Güter) gewünscht sind um Konzepte zur Echtzeitsteuerung der Prozesse realisieren zu können [HAN-08].

In diesem Beitrag wird die Flexibilität hinsichtlich des Lokalisierungsobjektes diskutiert. Darum wird betrachtet, welche Module eines Lokalisierungssystems auf dem Lokalisierungsobjekt selber angebracht werden müssen. Erfahrungsgemäß zeigt sich, dass die Anbringung eines Location Tags der Anbringung eines Location Sensors am Lokalisierungsobjekt grundsätzlich vorzuziehen ist. Auf Grund der höheren Abmessungen und des höheren Energiebedarfs eines Location Sensors als ein Location Tag ist eine Anbringung an Gütern häufig technisch nicht machbar und wirtschaftlich wenig sinnvoll. Doch auch ein Location Tag kann aus diesen Gründen geringer flexibel auf weiteren Lokalisierungsobjekten angebracht werden, wenn dieser eine eigene Energieversorgung benötigt und somit kein passiver Location Tag ist, der seinen Energiebedarf aus Umgebungsenergie deckt und somit energetisch autonom ist [Fin-08]. Häufig verfügen über den Gabelstapler hinausgehende Lokalisierungsobjekte, wie Güter und Werker, über keine Energieversorgung, so dass eine flexible Anpassung eines Lokalisierungssystems auf diese vielfach nicht möglich ist.

4.4 SKALIERBARKEIT

Die Skalierbarkeit eines Lokalisierungssystems wird durch das Verhältnis zwischen dem Umfang eingesetzter Lokalisierungsinfrastruktur und der daraufhin erzielbaren Anzahl an lokalisierbaren Objekten beschrieben. Dabei kann die Skalierbarkeit in zwei Dimensionen betrachtet werden. Zum einen die Erweiterung der durch ein Lokalisierungssystem und seiner Infrastruktur abgedeckten Flächen und zum anderen durch die Erweiterung der Anzahl der Lokalisierungsobjekte bei bestehender Infrastruktur.

In diesem Beitrag wird die letztgenannte Dimension durch die Fähigkeit des Location Sensors mit einer endlichen Anzahl an Lokalisierungsobjekten zu kommunizieren, bzw. deren Lokalisierungssignale zu empfangen, dargestellt. Technisch wird diese Fähigkeit von einzelnen Systemen z.B. durch Methoden des Räummultiplexing (Spatial Multiplexing) in der Form von räumlich, zeitlich getrennter oder durch Code- und frequenzdifferenzierter Kommunikation bewerkstelligt [RAC-07]. Ergänzend zu dieser technisch motivierten Betrachtung steht als weiteres Kriterium die Kostenverteilung im Fokus. Hierbei wird in den Modulen der Kostentreiber identifiziert, den i.d.R. der Location Sensor darstellt. Dabei ist dessen Anordnung in der Lokalisierungsinfrastruktur günstiger zu bewerten, wenn es darum geht die Anzahl der zu lokalisierenden Objekte zu skalieren.

5 EINORDNUNG AM MARKT VERFÜGBARER LOKALISIERUNGSSYSTEME ANHAND IHRER FÄHIGKEITEN

Bisher gibt es wenige bekannte Beispiele für eine Umsetzung der Staplerlokalisierung im innerbetrieblichen Transportprozess. Beobachtungen des Marktes zeigen einige Anwender insbesondere in transportintensiven Branchen, wie z.B. der Getränkeindustrie. Der geringen Anzahl an Anwendern stehen eine Vielzahl an Systemen mittelständisch geprägter Anbieter gegenüber, die sich in ihrer technischen Gestaltung und damit auch in ihren Fähigkeiten unterscheiden. Im weiteren Verlauf dieser Studie werden 25 Systeme, die im Anschluss dieses Beitrages aufgelistet sind, anhand der eingeführten Kriterien aus Kapitel 0 eingeordnet.

5.1 LOKALISIERUNGSGENAUIGKEIT UND EINSATZBEREICH

Am Markt identifizierte Lokalisierungssysteme für die Positionsbestimmung des Gabelstaplers im innerbetrieblichen Transportprozess sind primär für den Innenbereich von Lagerumgebungen entwickelt worden (56%). Eine geringe Anzahl an Systemen bedient den Innen- und Außenbereich in gleichem Maße (32%) und lediglich drei Systeme nur den Außenbereich eines Lagers (12%).

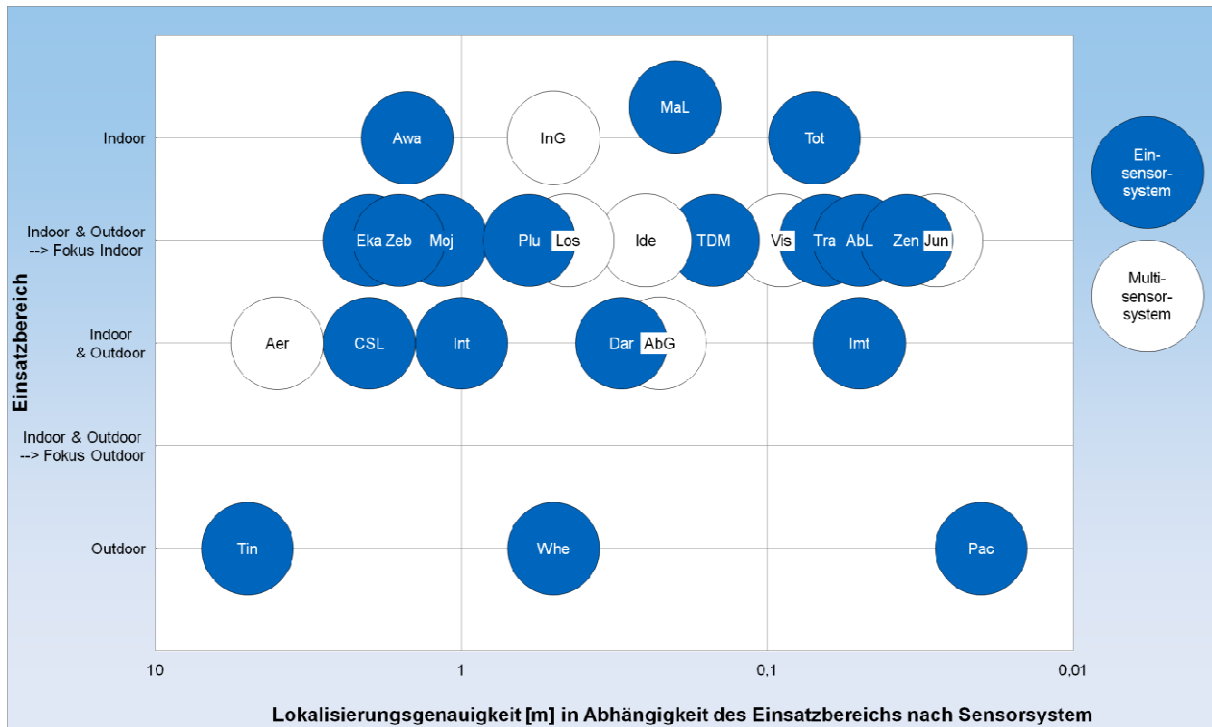


Abbildung 6: Lokalisierungsgenauigkeit in Abhängigkeit des Einsatzbereiches

Grundsätzlich zeigt sich eine homogene Verteilung der erreichbaren Lokalisierungsgenauigkeit in den betrachteten Systemen. 52% aller Systeme sind für die Unterscheidung von Blocklagerplätzen geeignet, sofern von Palletenlagerplätzen (vgl. Abbildung 5) ausgegangen wird. Weitere Systeme verteilen sich in gleichem Maße auf die Bereiche geringerer und höherer Lokalisierungsgenauigkeit. Entsprechend der in Abbildung 5 gewählten Einteilung der Lokalisierungsgenauigkeit in Abhängigkeit der Anwendung ist zu schlussfolgern, dass somit im gleichem Maße der Bedarf für eine Unterscheidung von Lagergängen und Waren mittels eines Lokalisierungssystems besteht.

Multisensorsysteme können nach Abbildung 6 ihre theoretische Stärke einer höheren Genauigkeit (vgl. Kapitel 3.3) in aktuellen am Markt verfügbaren Systemen gegenüber Einsensorsystemen nicht zeigen. Ein Großteil der Multisensorsysteme weist eine Lokalisierungsgenauigkeit von 1m bis 0,1m auf und wird durch eine Vielzahl an Lokalisierungssystemen auf der Basis einer einzigen Sensortechnologie übertroffen.

Auffallend ist, dass Lokalisierungssysteme mit höheren Genauigkeitsleistungen sich tendenziell auf Lokalisierungssignale höherer Frequenz (oberhalb 2,4 GHz) stützen. Insbesondere für die optischen Systeme im Bereich von > 300 GHz ist dies bei den Systemen Zenotrack (Zenotrack GmbH) und Total Trax (Sky-Trax Inc.) zutreffend. Allerdings stützen sich nur fünf Systeme auf diesen Frequenzbereich in ihrem Location Sensor, weswegen keine allgemeingültige besondere Eignung dieses quasioptischen Frequenzbereichs für die hochgenaue Lokalisierung im innerbetrieblichen Staplereinsatz festgestellt werden kann.

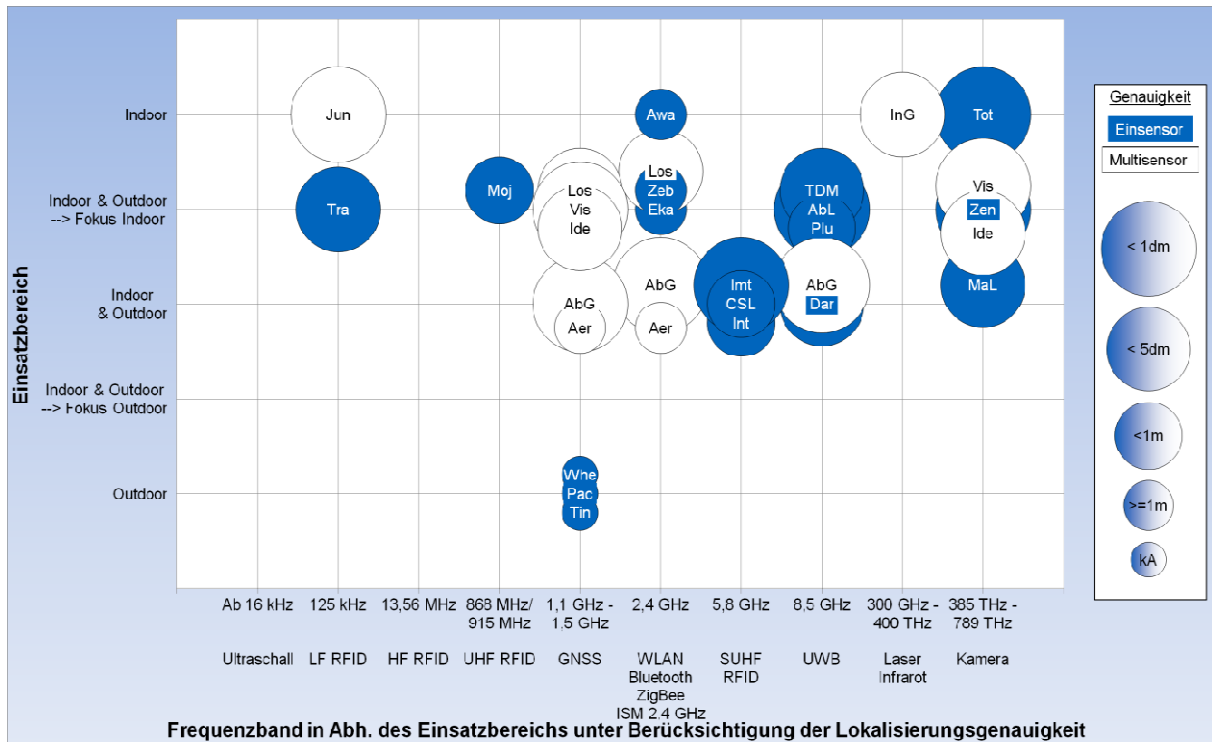


Abbildung 7: Frequenzband in Abhängigkeit des Einsatzbereiches unter Berücksichtigung der Lokalisierungsgenauigkeit

5.2 FLEXIBILITÄT UND SKALIERBARKEIT

Die Flexibilität der am Markt verfügbaren Systeme zur Lokalisierung eines Gabelstaplers im innerbetrieblichen Transportprozess ist auf einem mittleren Niveau ausgeprägt (vgl. Abbildung 8), wobei die Betrachtung lediglich die Erweiterung des Systems auf weitere verschiedenartige Lokalisierungsobjekte berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3). Dies ist überwiegend dadurch verursacht, dass sich entweder auf dem Lokalisierungsobjekt ein aktiver Location Tag oder ein Location Sensor befindet. In letztem Fall verfügt das System über passive Location Tags in der Infrastruktur an Referenzpunkten. Entsprechende Systeme mit aktiven Location Tags in der Infrastruktur zeichnen sich dementsgegen durch eine ausgesprochen geringe Flexibilität aus.

Hierbei fällt auf, dass insbesondere Outdoor-Systeme inflexibel sind, z.B. Wheretrack (Zebra Enterprise Solution Inc.), Pacific Crest (Pacific Crest Inc.). Dies steht in einem Gegensatz zur an für sich höheren Flexibilität Anforderung im Außenbereich von Lagern, die sich häufig durch saisonale Lagerungen und heterogenen Gütergruppen im Außenbereich des Lagers ergeben (vgl. [GÜN-10]).

In Ergänzung zu Kapitel 5.10 ist zu erkennen, dass Systeme mit hoher Lokalisierungsgenauigkeit eine voneinander unterschiedliche Flexibilität aufweisen. Ebenso sind für Systeme geringer Lokalisierungsgenauigkeit voneinander abweichende Fähigkeiten der Flexibilität zu erkennen (vgl. Abbildung 6 zu Abbildung 8). Es ist somit kein klarer Zusammenhang zwischen der Flexibilität eines Systems und der erreichbaren Lokalisierungsgenauigkeit zu erkennen. Dieses Bild setzt sich fort, wenn Abbildung 7 und Abbildung 8 anhand einzelner Lokalisierungssysteme verglichen werden. Ein Zusammenhang zwischen der verwendeten Lokalisierungstechnologie eines Systems und der Flexibilität eines Systems ist nicht erkennbar.



Abbildung 8: Flexibilität in Abhängigkeit des Einsatzbereiches nach Sensorsystem

Dem entgegen ist die Flexibilität vielmehr in der gewählten Architektur des Lokalisierungssystems begründet. Abbildung 9 zeigt hierzu eine klare zahlenmäßige Überlegenheit der Fremdortung gegenüber allen weiteren in Kapitel 0 diskutierten Architekturen. Demgegenüber zeichnen sich Architekturen der Eigenortung durch eine mittlere Flexibilität aus, die insbesondere darin begründet ist, dass hier der Location Sensor auf dem Lokalisierungsobjekt angebracht ist und somit die Erweiterung des Lokalisierungssystems um andersartige Lokalisierungsobjekte einschränkt.

Auffallend ist darüber hinaus, dass Systeme der indirekten Eigenortung aktuell am Markt nicht zu bestehen scheinen. Nachvollziehbar ist dies, da dieser Architekturansatz sich durch eine hohes Kommunikationsaufkommen zwischen in der Infrastruktur angeordneten Location Sensoren und auf dem Transportmittel mitfahrenden Location Engines auszeichnet. Durch die räumliche Entkopplung von Location Engine und Location Sensor resultiert daraus eine größere Herausforderung bzgl. der Echtzeitanforderungen in der Positionsbestimmung des Transportmittels.

Die Systeme mit höchster Flexibilität sind Mojix STAR (Mojix Inc.) und der Prototyp des Forschungsprojektes Markerbasierte Lokalisierung (Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung). Mojix STAR (Mojix Inc.) zeichnet sich durch günstige, einfache und passive Location Tags (passive RFID-UHF Tags) aus, die auf dem Lokalisierungsobjekt unter hoher Gestaltungsfreiheit angebracht werden können. Darüber hinaus befindet sich der Location Sensor als Kostentreiber in der Infrastruktur, wie auch die Location Engine zentral angeordnet ist. Allerdings zeigen eigene Untersuchungen am Lehrstuhl fml, dass Echtzeitanforderungen an die Lokalisierung eines fahrenden Gabelstaplers mit diesem System schwer zu erreichen sind. Dies liegt insbesondere in der hohen Informationslast begründet, die die zentral angeordnete Location Engine zur Positionsbestimmung zahlreicher Lokalisierungsobjekte zu bewältigen hat. Somit wird an dieser Stelle eine hohe Flexibilität auf Kosten der Echtzeit-Fähigkeit des Systems erreicht. Auf der anderen Seite zeichnet sich ebenso der Prototyp des Forschungsprojektes Markerbasierte Lokalisierung (Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung) durch eine hohe Flexibilität aus, in dem auf eine Kamera-basierten Positionsbestimmung gesetzt wird [BOR-11]. Im Gegensatz zum Zenotrack System (Zenotrack GmbH), dass sich durch eine hohe

Lokalisierungsgenauigkeit auszeichnet, wird beim System des Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (Forschungsprojekt Markerbasierte Lokalisierung) durch die Anordnung von beobachtenden Kameras (Location Sensor) und zentraler Bildverarbeitung zur Positionsbestimmung (Location Engine) in der Infrastruktur Flexibilität gewonnen. Passive Location Tags in der Form von Papier-basierten Markern auf den Lokalisierungsobjekten sind flexibler auf verschiedenartige Objekte zu übertragen als es bei Zenotrack (Zenotrack GmbH) zu bewerkstelligen ist. Bei Zenotrack wird die Kamera (Location Sensor) mit der Rechnerhardware zur Positionsbestimmung (Location Engine) auf dem Gabelstapler, d.h. dem Lokalisierungsobjekt, verbaut.

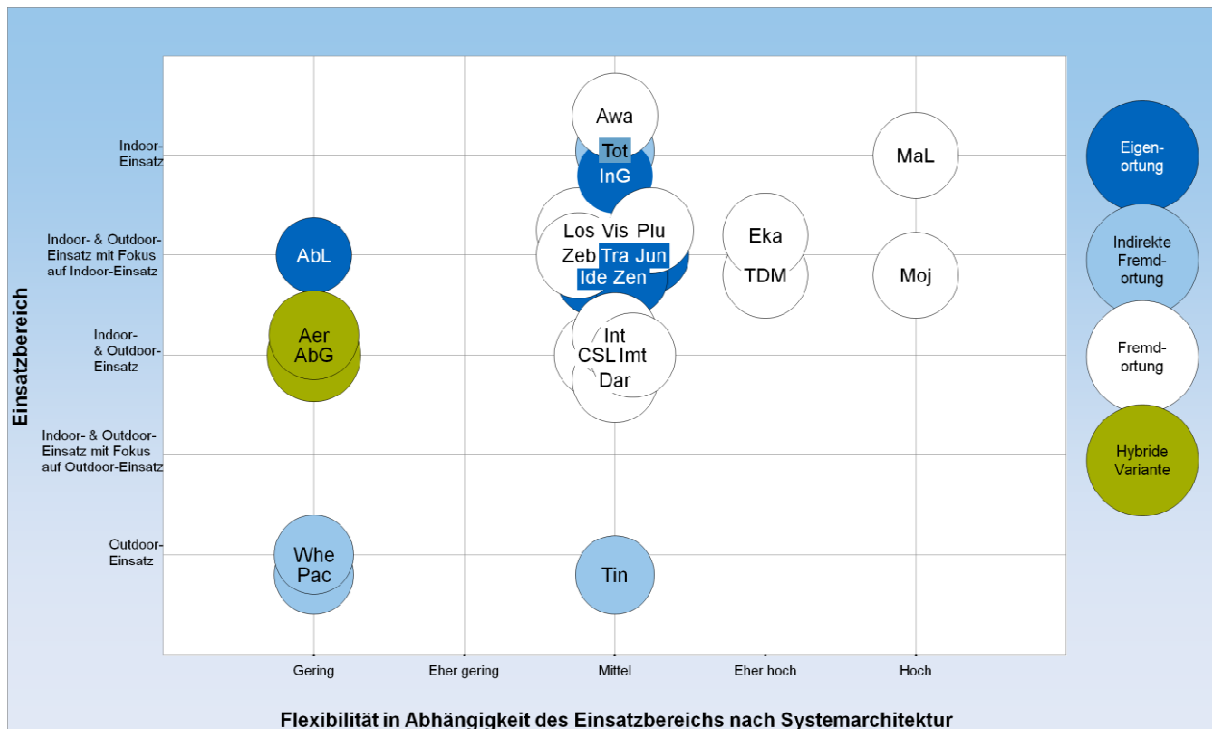


Abbildung 9: Flexibilität in Abhängigkeit des Einsatzbereiches nach Ortungsverfahren

Die Skalierbarkeit von aktuellen Lokalisierungssystemen zur Gabelstaplerortung ist in **Abbildung 10** durch ein zweigeteiltes Bild beschrieben. Auf der einen Seite gibt es zahlreiche Systeme mit einer vorteilhaften Kostenverteilung, die durch eine bestehende Lokalisierungsinfrastruktur zahlreiche Objekte parallel lokalisieren können. Diese Systeme sind ausschließlich Architekturen der Fremdortung, in denen eine Skalierung der Anzahl zu lokalisierender Gabelstapler durch die Anbringung von kostengünstigen Location Tags auf diesen möglich ist. Demgegenüber steht eine große Gruppe an Systemen mit nachteiliger Kostenverteilung, bei denen der Location Sensor als Kostentreiber auf dem Lokalisierungsobjekt geführt wird und somit eine Skalierung der zu lokalisierenden Gabelstapler höhere Kosten verursacht.

In gleicher Form sind hier Einsensorsysteme gegenüber Multisensorsystemen im Vorteil, da auch hier bei letzteren i.d.R. der Location Sensor auf dem Lokalisierungsobjekt geführt wird.

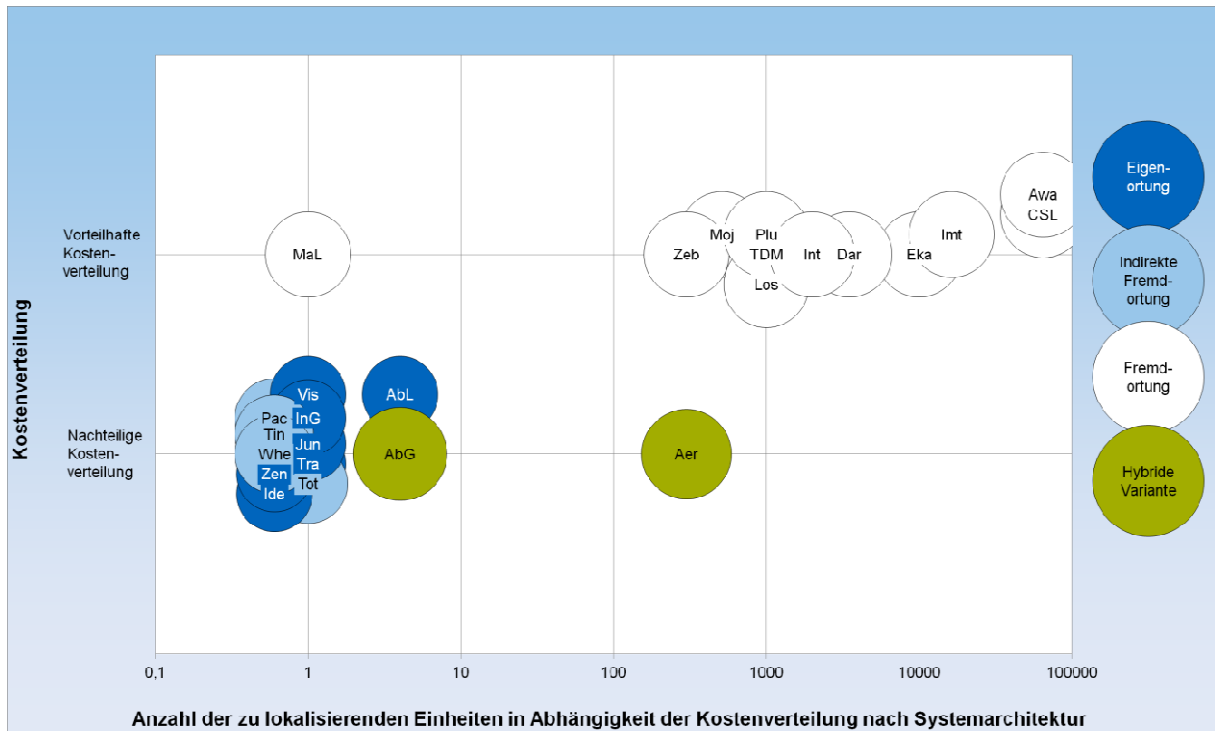


Abbildung 10: Skalierbarkeit dargestellt durch die Anzahl zu lokalisierender Einheiten in Abhängigkeit der Kostenverteilung nach Systemarchitektur

5.3 KRITISCHE WÜRDIGUNG

Dieser Beitrag basiert auf Referenzen zu betrachteten Lokalisierungssystemen, wodurch nicht jede Einzelheit zum System in der Praxis am System nachvollzogen wird. In der Wahl der Referenzen wird allerdings eine möglichst stabile Datengrundlage geschaffen, indem gezielt zu einem Sachverhalt mehrere Quellen, sofern verfügbar, einbezogen werden.

Unter dieser Einschränkung sind die Angaben zur Lokalisierungsgenauigkeit der einzelnen Systeme zu betrachten. Es bestehen keine einheitlichen Vorschriften zur Bestimmung der Lokalisierungsgenauigkeit, so dass die Angaben häufig unter den jeweiligen Idealbedingungen eines Lokalisierungssystems ermittelt werden. Auf Grund von praktischen Tests am Lehrstuhl fml zu einigen betrachteten Systemen müssen die Angaben zur Lokalisierungsgenauigkeit als theoretische Werte verstanden werden, die allerdings zu einander interpretiert einen relativen Aussagegehalt haben.

Eine genaue Betrachtung eines Lokalisierungssystems ohne Einbeziehung der konkreten, detaillierten Umweltbedingungen ist nicht möglich. Dieser Beitrag liefert lediglich eine Aussage zur grundsätzlichen Eignung eines Lokalisierungssystems für den Einsatz im Innen- und/oder Außenbereich eines Lagers. Detaillierte Wechselwirkungen mit der Einsatzumgebung müssen am konkreten Einsatzbeispiel betrachtet werden. Hier werden sich einzelne Lokalisierungstechnologien für spezifische Umgebungsbedingungen unterschiedlich robust erweisen. Dieser Beitrag soll allerdings anhand der vorherigen Diskussion die Anzahl zur Auswahl stehender Lokalisierungssysteme für die gesuchte Anwendung der Gabelstaplerlokalisierung helfen sinnvoll einzugrenzen, damit eine zielgerichtete und sichere Machbarkeitsuntersuchung möglich ist.

Die in der Betrachtung der Flexibilität und Skalierbarkeit eines Lokalisierungssystems getätigte Annahme, dass die Anbringung eines Location Sensors auf dem Lokalisierungsobjekts in mehrfacher Hinsicht nachteilig ist,

nimmt einen starken Einfluss auf das Ergebnis der Diskussion. Diese Annahme ist insbesondere dann gerechtfertigt, wenn es um die Lokalisierung einer größeren Flotte an Transportmitteln geht und eine Erweiterung des Systems um andersartige Lokalisierungsobjekte in Zukunft vorstellbar ist. Dies entspricht der in der Einleitung gezeichneten Ausgangssituation, unter deren Gesichtspunkt dieser Beitrag erstellt ist.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Dieser Beitrag zeigt, dass Einsensorsysteme in der Praxis den Multisensorsystemen hinsichtlich der Lokalisierungsgenauigkeit nicht zwangsläufig unterlegen sind. Gerade Kamera-basierte optische Systeme erreichen aktuell bereits hohe Lokalisierungsgenauigkeitsanforderungen, wobei hierzu nur wenige Systeme bereits existieren und somit nur eine Tendenz festgestellt werden kann.

Diese Betrachtung zeigt, dass aktuelle Systeme für die Lokalisierung von Gabelstaplern ihren Anwendungsschwerpunkt im Innenbereich haben und häufig zusätzlich den Außenbereich unter Einschränkungen mit bedienen können. Nicht nur aus diesem Grund ist die Technologiewahl bei einer innerbetrieblichen Lokalisierung des Transportmittels von Grund auf zu führen, wobei dieser Beitrag den Aspekt der Technologiewahl um Aspekte der Systemarchitektur ergänzt.

Insbesondere hinsichtlich der Anordnung der Module eines Lokalisierungssystems in der Einsatzumgebung und auf dem Lokalisierungsobjekt zeigt sich die Fremdortung als vorteilhafte Architektur. Bezogen auf die Flexibilität und Skalierbarkeit unter dem Verständnis dieses Beitrags ist die Fremdortung der Eigenortung überlegen.

Der Lehrstuhl fml beschäftigt sich seit längerem mit der Technologiewahl und Systemgestaltung eines Lokalisierungssystems für die betrachtete Anwendung der Gabelstaplerlokalisierung. Im Rahmen des ZIM-Forschungsprojektes¹ „Indoor- und Outdoor-Ortung von Flurförderzeugen“ wurde ein RFID-LF basiertes Lokalisierungssystem zu einem Multisensor-basiertem Lokalisierungssystem ausgebaut [GÜN-10]. Im Rahmen dessen sind besonders die Technologien GPS und Inertialsensorik zur Lokalisierung betrachtet und integriert worden. In einem weiteren Forschungsprojekt „Das Staplerauge“² des Lehrstuhl fml wird ein Einsensorsystem auf der Basis einer Kamera und anschließender Bildverarbeitung aufgebaut [HOH-12]. Methoden zur kamerabasierten Lokalisierung werden entwickelt und um weitere Sensorfunktionen ergänzt, die an einem Gabelstapler zur Zustandsdokumentation des Transportprozesses förderlich sind. Das hierbei zu entwickelnde Software-Framework wird in Zukunft dem Systemintegrator die Flexibilität bieten Software-basiert Sensorfunktionen am Gabelstapler nachzurüsten und an sich wandelnde Einsatzumgebungen zu adaptieren. Damit wird der Nachteil einer Eigenortung des Fahrzeuges hinsichtlich der Skalierbarkeit unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten reduziert, da der Grenznutzen für die Umsetzung weiterer Sensorfunktionen neben der Lokalisierung durch den im Forschungsprojekt verfolgten Ansatz der Funktionsintegration im Sensor am Gabelstapler steigt.

¹ Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM).

² Das IGF-Vorhaben 17244 N/1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

	Name des RTL-Systems	Kürzel	Anbieter: Name	Standort
1.	Absolute Positioning - D-GPS	AbG	Symeo GmbH	Neubiberg, Deutschland
2.	Absolute Positioning - LPR-2D	AbL	Symeo GmbH	Neubiberg, Deutschland
3.	Visibility System	Aer	Aeroscout Inc.	Redwood City, USA
4.	RTLS	Awa	Awarepoint Inc.	San Diego, USA
5.	CSL CS5000	CSL	Convergence Systems Ltd.	Hongkong, China
6.	Wherenet DART UWB	Dar	Zebra Enterprise Solution Inc.	USA
7.	Ekahau	Eka	Ekahau Inc.	Helsinki, Finland
8.	IdentPLUS	Ide	Identpro GmbH	St. Augustin, Deutschland
9.	Inmotiotec LPM	Imt	Abatec Electronic AG	Regau, Österreich
10.	intelliGence (mit G-Flex, G-Track)	InG	Locanis GmbH	Unterföhring, Deutschland
11.	IntelliFind	Int	Identec Solutions GmbH	Weinheim, Deutschland
12.	JH Schmalganglokalisierung	Jun	Jungheinrich AG	Hamburg, Deutschland
13.	Lost	Los	Essensium B.V.	Leuven, Belgien
14.	Markerbasierte Lokalisierung (MarLo)	MaL	Fraunhofer Institut IFF	Magdeburg, Deutschland
15.	Mojix Star	Moj	Mojix Inc.	Los Angeles, USA
16.	Pacific Crest	Pac	Pacific Crest Inc.	Kalifornien, USA
17.	PLUS	Plu	Time Domain Inc.	Alabama, USA
18.	TDMA - True Real Time Location	TDM	Ubisense Inc.	Cambridge, USA
19.	Tino	Tin	intransID GmbH	Berlin, Deutschland
20.	Total Trax	Tot	Sky-Trax Inc.	Newcastle, USA
21.	Track + Race	Tra	Indyon GmbH	Pöcking, Deutschland
22.	VisibleEDGE	Vis	Rush Tracking Systems Inc.	Kansas, USA
23.	Wheretrack	Whe	Zebra Enterprise Solution Inc.	USA
24.	Wherenet ISO/IEC 24730-2	Zeb	Zebra Enterprise Solution Inc.	USA
25.	Zeno Track	Zen	Zeno Track GmbH	Wien, Österreich

Tabelle: Liste berücksichtigter Lokalisierungssysteme

LITERATURVERZEICHNIS

- [BEN-08] Bensky, A.: Wireless Positioning - Technologies and Applications. Norwood, MA: Artech House, 2008.
- [BOR-11] Borstell, H.; Kirch, M.; Richter, K.: Echtzeitnahe Prozessfreigabe durch bildbasierte Gabelstaplerortung. In: Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg): 16. Flurförderzeugtagung: Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2011.
- [DOD-10] Dodel, H.; Häupler, D.: Satellitennavigation. 2 Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
- [EUR-98] Eurocontrol; IfEN: WGS 84 Implementation Manual. eur98Eurocontrol; Institute of Geodesy and Navigation (IfEN), 1998.
- [FIN-08] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. 5., aktualisierte Auflage. München: Hanser Verlag, 2008.
- [GÜN-10] Günthner, W. A., Hohenstein, F., Fischer, R.: Forschungsprojekt zur integrierten Ortung von Flurförderzeugen. Logistik für Unternehmen, Berlin, Ausgabe 1-2/2010, ISSN 0930-7834
- [HAN-08] Hansen, W.-R.; Gillert, F.; Cox, K.; Schmid, V.: RFID for the Optimization of Business Processes. Chichester: Wiley Publishing, Inc., 2008.
- [HOH-12] Hohenstein, F., Günthner, W. A.: „Das Staplerauge“ zur Integration von Sensorfunktionen. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin, Ausgabe 5/2012
- [ISO-08] ISO/IEC 19762-5: Information Technology - Automatic Identification and Data Capture (AIDC) Techniques - Harmonized Vocabulary, Part 5: Locating Systems. International Standard. Berlin: Beuth Verlag.
- [KOC-04] Koch, J.: Marktforschung Begriffe und Methoden R. Oldenbourg Verlag, München, 2004
- [LIU-07] Liu, H. et al.: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), Jg. 37 (2007)6, S. 1067–1080.
- [MAL-09] Malik, A.: RTLS for Dummies. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2009.
- [MAN-09] Mannel, A.: Muelle Transport in der Intralogistik, 2009 (Aufruf am 28.01.2010).
- [RAC-07] Rackley, S.: Wireless Network Technology - From Principles to Successful Implementation. Oxford: Elsevier, 2007.
- [ROG-92] Rogge, H.-J.: Marktforschung, Elemente und Methoden betrieblicher Informationsgewinnung. Hanser Fachbuch, 1992
- [STR-08] Strang, T. et al.: Lokalisierungsverfahren. Oberpfaffenhofen: DLR.Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2008.
- [WEN-07] Wendel, J.: Integrierte Navigationssysteme - Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation. Wen07. München: Oldenbourg, 2007.
- [WIL-06] Wilke, M.: Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen. Dissertation; Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München. München, 2006.