

Stefan Galka.

AUTOSTORE
WAS NUTZER ÜBER DAS SYSTEM BERICHTEN KÖNNEN

Ergebnisse einer Online-Umfrage

Herausgegeben von:
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Fakultät Maschinenbau



IMPRESSUM

Herausgegeben von:

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Prüfeninger Straße 58
93049 Regensburg

Gesamtredaktion:

Stefan Galka

Autoren:

Stefan Galka, Christoph Scherbarth, Lukas Troesch

Bildnachweis:

AutoStore System GmbH: 3-1,5-1,8-1
Ludwig Meister GmbH & Co. KG: 1-1, 3-2, 6-1
Stefan Galka: 2-1,4-1

Gestaltung:

Stefan Galka

Druck:

ISBN:

978-3-9818209-9-7

DOI:

10.35096/othr/pub-646

URN:

urn:nbn:de:bvb:898-opus4-6463

Copyright 2020 – Printed in Germany

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Die urheberrechtlichen Verwertungsrechte liegen beim Herausgeber.

Nachdruck, Übersetzung, Vervielfältigung oder Speicherung auf Datenträger ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers möglich.

Für Satz- und Druckfehler, für unrichtige Angaben der Unternehmen sowie für Marken- oder Urheberrechte wird jeglicher Schadensersatz ausgeschlossen.

OSTBAYERISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE REGENSBURG

Die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH Regensburg) bietet ihren Studierenden ein breites Fächerspektrum aus den Schwerpunkten Technik, Wirtschaft, Gestaltung, Soziales und Gesundheit an. Der besondere Fokus liegt auf technischen Studienangeboten - knapp 70 Prozent der Studierenden sind in mathematischen, naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Fächern immatrikuliert.

Zugleich spielen wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Fachbereiche eine tragende Rolle für das Selbstverständnis der Technischen Hochschule. Das daraus entstehende interdisziplinäre und vielfältige Studienangebot wird ergänzt durch ein breites Spektrum von Zusatzstudien und Wahlangeboten, die Orientierungswissen und interkulturelle Kompetenzen vermitteln.

INNOVATION UND PRAXISNAH

Die OTH Regensburg versteht sich als Motor für Innovationskraft und Zukunftsfähigkeit der Region. Als Partner der regionalen Unternehmen werden praxisnahe Bildungsangebote und Forschungsaktivitäten vorangetrieben. Duale Studiengänge und Angebote der wissenschaftlichen Weiterbildung verzahnen die Ausbildung an der Technischen Hochschule mit der betrieblichen Praxis. Angewandte Forschung und am Bedarf orientierter Wissens- und Technologietransfer machen die OTH Regensburg zu einem wichtigen Impulsgeber für innovative Unternehmen.

INTERNATIONAL MIT REGIONALEM BEZUG

Die OTH Regensburg unterhält eine Vielzahl von Partnerschaften mit ausländischen Hochschulen und nimmt unter den bayerischen Hochschulen für angewandte Wissenschaften einen Spitzenplatz bei der internationalen Studierendenmobilität ein. Studierende der OTH Regensburg erhalten dadurch vielfältige Möglichkeiten, während des Studiums internationale Erfahrungen zu sammeln. Die hohe Zahl ausländischer Studierender sorgt für eine interkulturelle und offene Atmosphäre.

HOCHQUALIFIZIERTE LEHRE UND EXZELLENT FORSCHUNG

Höchste Qualität in Forschung, Lehre und Verwaltung ist der Wesenskern des Profils der OTH Regensburg. Bereits seit dem Jahr 2000 unterhält die Technische Hochschule ein Qualitätssicherungssystem nach dem Standard der European Foundation for Quality Management (EFQM). Dies manifestiert sich nicht zuletzt in vielfach ausgezeichnete angewandter Forschung. Die besondere Forschungsstärke der Hochschule in technischen Fächern war entscheidender Faktor für den Erfolg im Wettbewerb um den Titel „Technische Hochschule“.

DIE AUTOREN

Prof. Stefan Galka

OTH Regensburg, Prof. für Materialflusstechnik und Fabriksimulation, Fakultät Maschinenbau

Stefan Galka ist seit 2018 Professor für Materialflusstechnik und Fabriksimulation an der OTH Regensburg. Neben der Lehre erforscht er die Einsatzmöglichkeiten von Digitalen Werkzeugen in der Logistik sowie Produktion und konzipiert neue Automatisierungsansätze im Bereich der Logistik.

Von 2006-2015 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl fml der Technischen Universität München und leitete die Forschungsgruppen *Logistikplanung und Materialflusstechnik*. In dieser Tätigkeit bearbeitete er Forschungs- und Beratungsprojekte. Seit 2009 ist er als Unternehmensberater für Fabrik- und Logistikplanung tätig.



Lukas Troesch

Student im Masterstudiengang Industrial Engineering an der OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau

Lukas Troesch ist seit 2019 Bachelor of Engineering mit dem Schwerpunkt Produktions- und Automatisierungstechnik. Im Rahmen von Projektarbeiten im Studium hat er schon vielfältige Einblicke in den Bereichen Materialflusstechnik, Produktion und Logistik sammeln können. Sein ganzes Studium hinweg arbeitet er als Werkstudent bei einem Unternehmen, das sich auf die Planung, Projektierung und Realisierung von automatisierten Logistikanlagen spezialisiert hat. Seit 2019 studiert er den Masterstudiengang Industrial Engineering und möchte anschließend seine Berufliche Karriere als Ingenieur im Industriesektor beginnen.



Christoph Scherbarth

Absolvent des Masterstudiengang Industrial Engineering an der OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau

Christoph Scherbarth war von 2018 -2020 Student im Masterstudiengang Industrial Engineering. Im Rahmen von Projektarbeiten im Studium hat er schon Einblicke in den Bereichen Materialflusstechnik und Logistik sammeln können. Seine Abschlussarbeit hat er in der Logistiksimulation verfasst.

In naher Zukunft möchte er seine Berufliche Karriere als Ingenieur im Bereich der Fabrikplanung beginnen.



Vorwort

Automatisierte Kleinteilelager sind nicht neu. Anfang der 1970er realisierte die Firma psb das erste vollautomatische Kleinteilelager. [Gün-07] Im Segment der Kleinteilelagerung erfreut sich aktuell das AutoStore-System einer wachsenden Beliebtheit. Im Vergleich zu einem klassischen Automatischen Kleinteilelagern (AKL) verspricht es eine höhere Lagerdichte und eine bessere Skalierbarkeit durch eine einfache Erweiterung des Lagerkorpus (Grid) und die Integration weiterer Lagerbediengeräte (Roboter). [Aut-20]

Im Jahr 2014 durfte ich bei der Firma Ludwig Meister in Dachau ein AutoStore-System besichtigen. Die vielen kleinen Roboter waren interessant zu beobachten, doch kann es effizient sein, wenn Kleinladungsträger in einer Art Blocklager aufbewahrt werden? Ich war skeptisch und noch nicht überzeugt von dem System. In den Jahren darauf habe ich mich immer wieder mit AutoStore-Nutzern über das System unterhalten. Alle Gesprächspartner waren überzeugt von ihrem AutoStore. Ein Grund mehr sich intensiv mit AutoStore auseinanderzusetzen, um das Konzept und die Ansätze besser zu verstehen. So entstand die Idee, eine Umfrage unter AutoStore-Nutzern durchzuführen, um ein umfassendes Meinungsbild zu erstellen. Im Herbst 2018 wurde im Rahmen der Abschlussarbeit von Hr. Lukas Troesch ein Fragebogen entwickelt und eine Onlineumfrage durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Umfrage und von den ergänzenden Interviews sind auf den folgenden Seiten festgehalten. Ich möchte mich bei allen Teilnehmern der Studie für ihr Engagement bedanken. Ein besonderer Dank gilt Lukas Troesch für sein außerordentliches Engagement im Rahmen seiner Abschlussarbeit.

Unsere Umfrage bezog sich nur auf das AutoStore-System. Es gibt weitere interessante Systeme, die auch auf den Einsatz von kleinen Robotern bzw. Shuttlen setzen. Beispielhaft sein die Lösungen von Exotec Solutions, Grenzebach, Magazino, Ocado Technologies, StorJet und Tompson Robotics genannt.

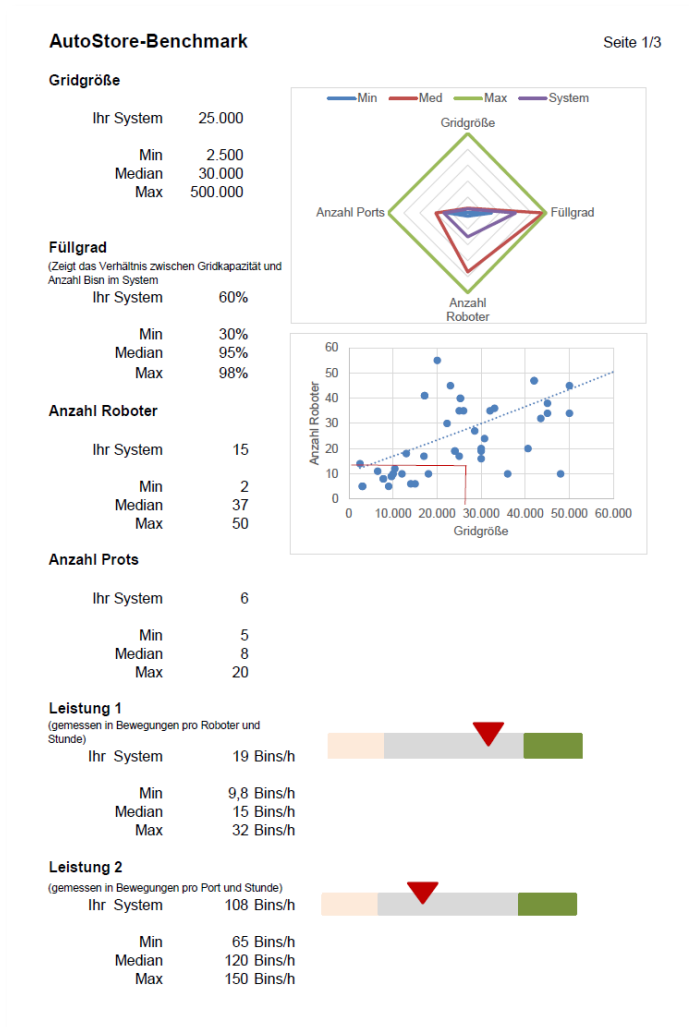
Ergänzend zu den Ergebnissen aus der Studie, wird im Anhang dieses Dokumentes eine Masterarbeit vorgestellt, in der ein parametrierbares Simulationsmodell für AutoStore-Systemen in PlantSimulation entwickelt wurde. In dieser Arbeit wurde ein eigener Routing-Algorithmus für die Roboter konzipiert, der das Verhalten der realen Roboter möglichst genau abbilden soll.

Ich hoffe, dass Ihnen unsere Studie bei der Planung, Realisierung und im Betrieb eines AutoStore-Systems hilft. Gerne können Sie mich bei Fragen zum Thema AutoStore oder anderen Themen kontaktieren.

Regensburg im April 2020, Prof. Stefan Galka

Im Kapitel werden unterschiedliche AutoStore-Systeme hinsichtlich der Größe und der Leistung verglichen.

Wenn Sie wissen wollen, wo sich Ihr AutoStore-System in diesem Vergleich einordnet, dann nutzen Sie unseren digitalen Service. Sie können relevante Kennwerte zu Ihrem System eingeben und erhalten eine Auswertung. Ein Beispiel sehen Sie in der folgenden Abbildung.



Hinweis – Beispieldaten

Aufrufen können Sie den Service unter www.logistikwerkstatt.de/AutoStore oder nutzen Sie den folgenden QR-Code.



Inhalt

VORWORT 6

INHALT 7

MANAGEMENT SUMMARY..... 9

1. HINTERGRUND, ZIELSETZUNG UND STUDIENDESIGN..... 11

2. STRUKTURELLE DATEN..... 13

3. DAS AUTOSTORE-SYSTEM..... 15

4. DIE VOR- UND NACHTEILE AUS NUTZERSICHT 33

5. DIE PLANUNGSPHASE..... 37

6. DIE REALISIERUNGS- UND BETRIEBSPHASE..... 42

7. INFORMATIONSPROZESS UND LAGERVERWALTUNG..... 47

8. LESSONS LEARNED 51

9. FAZIT..... 55

LITERATURVERZEICHNIS..... 58

**ENTWICKLUNG EINES PARAMETRIERBAREN SIMULATIONSMODELLS FÜR
DAS AUTOSTORE-SYSTEM..... 59**

ANHANG – EINGESETZTER FRAGEBOGEN..... 73

FORSCHUNGSPROFIL PROF. STEFAN GALKA 84

Management Summary

Aussage 1

Es gibt keine typische Größe für ein AutoStore-System. Diese Systeme können sehr klein (3.000 Behälterplätze), aber auch sehr groß (500.000 Behälterplätze) sein. *(Gleiches gilt für die Anzahl Roboter und Ports)*

Aussage 2

AutoStore-Systeme werden für eine Ware-zur-Person Kommissionierung eingesetzt. Nur für die Lagerung wurde keines der betrachteten AutoStore-Systeme genutzt. (Ganzeinheiten Ein- und Auslagerung)

Aussage 3

Bei der Dimensionierung eines AutoStore-Systems sollten neben der Lagerkapazität und den notwendigen Ein- und Auslagerungen, auch Aspekte wie die Auftragsvorlaufzeit (Freigabe der Aufträge), die Zugriffsstruktur bezogen auf das Sortiment und pro Bin sowie Nachschub- und Lagerstrategie betrachtet werden.

Aussage 4

AutoStore-Systeme bieten dem Nutzer eine hohe Lagerdichte und die Möglichkeit das Lager einfach zu erweitern (Skalierbarkeit). Wie jedes klassische Behälterlager für Kleinteile, sind die möglichen Abmessungen der Artikel durch die Abmessungen des Ladungsträgers begrenzt. Die mögliche Nutzlast pro Behälter ist etwas geringer als in klassischen Automatischen-Kleinteilelagersystemen (AKL).

Aussage 5

Neben dem Angebot des Distributors sollte es eine Ausschreibung vom Nutzer der Anlage geben, in der aus Nutzersicht die Anforderungen genau spezifiziert sind. Das umfasst auch die Leistungsanforderungen und den erwarteten Lieferumfang.

Aussage 6

Die Realisierungszeit für ein AutoStore-System ist relativ kurz. Probleme bei der Realisierung entstehen meistens im Zusammenhang mit dem Bau (Anforderungen an den Hallenboden) und dem Brandschutz.

Aussage 7

Die Nutzer sind sehr zufrieden mit der Zuverlässigkeit des AutoStore-Systems und berichten größtenteils von keinen nennenswerten Störungen.

Aussage 8

Im Zuge der Realisierung eines AutoStore-Systems wird häufig auch ein neues Lagerverwaltungssystem (LVS) eingeführt. Die Funktionen des LVS und das Zusammenspiel mit der AutoStore-Steuerung ist vor dem Go-Live im ausreichenden Maße zu testen.

Aussage 9

Die typischerweise durchgeführte Abnahme des AutoStore-Systems ist sehr technologiegetrieben. Es wird empfohlen einen Leistungstest festzulegen, der den späteren Prozess vollumfänglich abdeckt. Deshalb sollte der Test auf Grundlage von realen Aufträgen durchgeführt werden und die Funktionen des Lagerverwaltungssystems einschließen. So kann sichergestellt werden, dass die Anforderungen des Nutzers auch von der Anlage erfüllt werden.

Aussage 10

Die Gesamtzufriedenheit wurde von 93 Prozent der Befragten mit der Note eins oder zwei bewertet. Damit kann festgehalten werden, dass die Nutzer sehr zufrieden mit dem System sind.

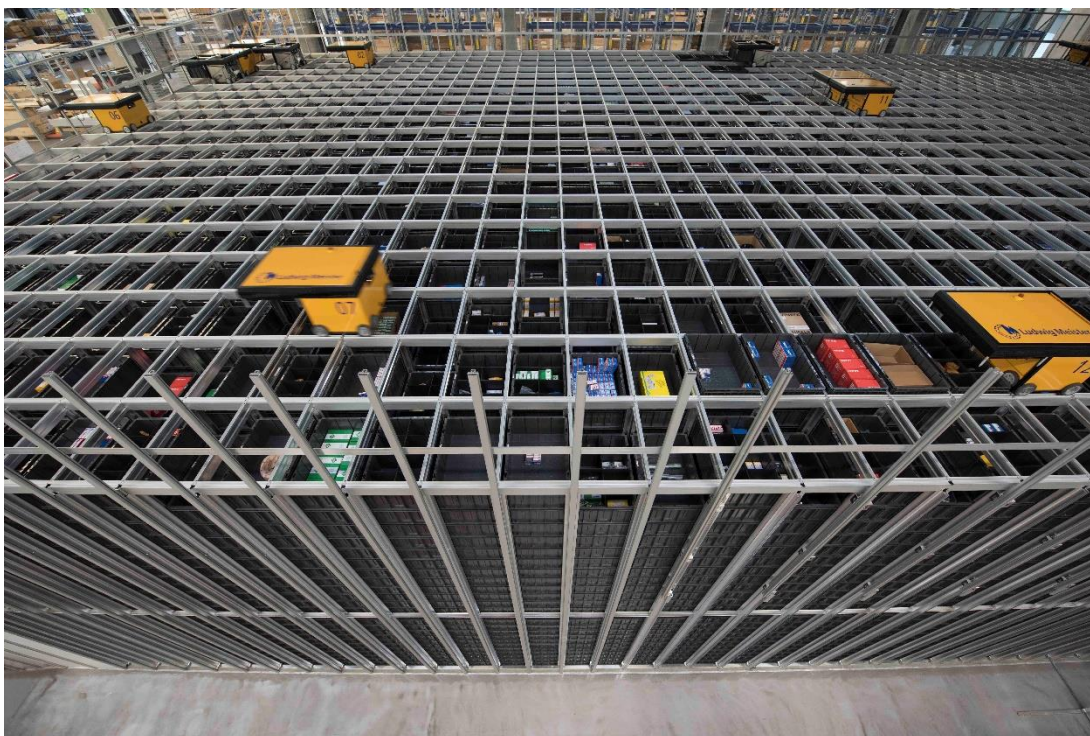


Foto 1-1: Firma Ludwig Meister

1. HINTERGRUND, ZIELSETZUNG UND STUDIENDESIGN

Hintergrund

Viele Unternehmen stellen sich die Frage, welche Lagertechnik für ihren individuellen Anforderungsfall am besten geeignet ist. Vor allem im Bereich der Lagerung von Kleinteilen gibt es viele unterschiedliche Lösungen. Angefangen von konventionellen Fachbodenregalanlagen, bei denen Artikel auch ohne Ladungsträger bevorratet werden können bis hin zu hochdynamischen Shuttle-Systemen.

Die Auswahl der geeigneten Lagertechnik und die damit verbundene Festlegung des Automatisierungsgrades ist von vielen Faktoren abhängig. Neben den Anforderungen des zu lagernden Sortimentes beeinflusst der Durchsatz und auch die Kostenstruktur die Entscheidung. Es lässt sich allerdings feststellen, dass immer mehr automatisierte Lager realisiert werden. In den Industrieländern wird dieser Trend unterstützt durch die immer schlechter werdende Verfügbarkeit von Personal und der damit verbundene Anstieg der Personalkosten. Aber auch die Anforderungen an die Logistikprozesse nehmen zu und sind somit ein Treiber für die Automatisierung von Lagerprozessen.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Lagertechnik mit dem Produktnamen „AutoStore“, welches von vom gleichnamigen Unternehmen über ein Netzwerk an Distributionspartnern vertrieben wird. Das AutoStore-System ist ein automatisches Kleinteile-Lagersystem, welches sich in den letzten Jahren einer wachsenden Beliebtheit erfreut hat. Laut Aussage von AutoStore wurden im Jahr 2019 knapp

104 neue Systeme beauftragt [Int-20a], wobei sich über die letzten Jahre ein stetiges Wachstum gezeigt hat. AutoStore selbst sagt: „Das schnellst wachsende Lagersystem der Welt“. [Int-20] Aktuell gibt es bereits mehr als 418 Systeme weltweit. [Int-20a]

Der Hersteller des AutoStore-Systems verspricht eine sehr hohe Lagerdichte, was dem Nutzer die Lagerung von großen Mengen auf kleinem Raum ermöglicht. Weiterhin soll sich das System durch eine hohe Durchsatzleistung, eine gute Erweiterbarkeit, seine Nachhaltigkeit und eine hohe technische Verfügbarkeit auszeichnen.

Die weltweiten Installationen und das jährliche Wachstum sprechen für die Behauptungen des Herstellers und der Distributionspartner. Stellt sich die Frage, wie die Nutzer das System sehen. Zeigen sich die beschriebenen Vorteile auch wirklich in der späteren Nutzung? Diese und weitere Fragen sollten im Rahmen einer Studie überprüft werden.

Zielsetzung

Diese Studie zielt darauf ab, die Vor- und Nachteile des AutoStore-Systems aus Sicht der Nutzer, Planer und potenzieller Kunden zu bewerten. Weiterhin soll die Studie Hinweise und Erfahrungen aus bestehenden Realisierungsprojekten zusammenfassen und damit die Planung und Realisierung neuer AutoStore-Systeme unterstützen.

Die Studie zielt nicht darauf ab, das AutoStore-System mit anderen Lagertechniken zu vergleichen, die für die

gleichen Aufgaben eingesetzt werden können.

Studiendesign

Um ein möglichst breites Spektrum an Befragten in die Untersuchung einzu-beziehen, adressiert die Studie Unter-nehmen aller Größen und Branchen. Zielgruppe sind sowohl Betreiber von AutoStore-Systemen, als auch Perso-nen, die derartige Systeme planen oder sich mit dem Einsatz von automa-tischen Kleinteilelagersystemen be-schäftigen.

Die Datenerhebung erfolgte mittels ei-nes Online-Fragebogens, der von No-vember 2018 bis Februar 2019 auf der Webseite der OTH Regensburg zur Verfügung gestellt wurde. Mit dieser Methode können Daten von einer gro-ßen Anzahl an Teilnehmern mit vertret-barem Aufwand erhoben werden. Auf-grund der im Unterschied zu einer per-sönlichen Befragung anonymen Erfas-sung und frei einteilbaren Bearbei-tungsdauer kann von einer höheren Antwortbereitschaft der Teilnehmer ausgegangen werden [Bor-09].

Fragebogen und Interviewleitfaden ori-entieren sich an den zuvor formulierten Zielen. Die konkreten Fragen und vor-gegebenen Antwortmöglichkeiten kön-nen dem Anhang entnommen werden.

Um die relevante Zielgruppe anzuspre-chen, wurde die Studie in einschlägi-ge Fachzeitschriften, auf Fachveran-staltungen und über soziale Medien beworben. Potenzielle Teilnehmer wurden außerdem persönlich ange-sprochen. Die Kontaktaufnahme er-folgte dazu über Business-Netzwerke (z. B. XING), innerhalb derer mögliche

Teilnehmer aufgrund ihrer Job-Be-schreibung ausgewählt wurden, über Download-Listen vorangegangener Studien sowie über persönliche Kon-takte.

Die Ergebnisse der Online-Umfrage wurden ergänzt durch Informationen aus persönlich geführten Interviews und Anlagen-Begehungen.

Aufbau der Studie

Nachfolgend werden zunächst die Vor-gehensweise bei der Auswertung der Fragebögen und die strukturellen Da-ten der Teilnehmer genauer beschrie-ben (**Kapitel 2**).

Die darauffolgenden Kapitel 3 bis 8 greifen die zuvor formulierten Ziele auf. Zunächst wird im **Kapitel 3** das Sys-tem kurz vorgestellt und Systemkenn-zahlen verglichen. Das folgende Kapi-tel „Vor- und Nachteile aus Nutzer-sicht“ (**Kapitel 4**) stellen die vom Nut-zer genannten Vorteile und Nachteile gegenüber. Weiterhin wird beschrie-ben, bei welchen Anforderungen das AutoStore sinnvoll eingesetzt werden kann und bei welchen Anforderungen es nicht geeignet ist. Dem Thema Pla-nung widmet sich das **Kapitel 5**. Hier wird das Vorgehen der Nutzer bei der Planung eines AutoStore-Systems ver-glichen. Die Realisierungsphase und der spätere Betrieb des AutoStore-Systems stellen den Schwerpunkt des **6. Kapitels** dar. Das Thema Informati-onsverarbeitung und Lagerverwaltung wird separat im **Kapitel 7** diskutiert. Die Erfahrungen und Hinweise der Nutzer werden im **Kapitel 8** „Lessons Learned“ zusammengefasst. Im ab-schließenden **Kapitel 9** werden we-sentliche Ergebnisse präsentiert.

2. STRUKTURELLE DATEN

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über die strukturellen Daten der Studie. Es wird die Herkunft (Branche und Unternehmensgröße) der Teilnehmer und die damit verbundenen Einsatzbereiche von AutoStore-Systemen dargestellt.

Welche Daten liegen der Studie zugrunde?

Die Befragung der Teilnehmer wurde von November 2018 bis Februar 2019 durchgeführt. Insgesamt wurde der Online-Fragebogen 351-mal aufgerufen. 64 Teilnehmer beendeten die komplette Befragung. Die Anzahl der Teilnehmer pro Frage kann variieren, da die Teilnehmer die Option hatten,

keine Angabe zu machen. Es ist möglich, dass mehrere Teilnehmer ihre Antworten in Bezug auf dasselbe Unternehmen/System abgegeben haben. Soweit in der anonymen Umfrage ersichtlich, ist dieser Anteil in der Auswertung jedoch vernachlässigbar klein.

In welchem Bereich wird das AutoStore-System eingesetzt?

Die Teilnehmer konnten angeben, in welchem Bereich ihr AutoStore-System eingesetzt wird. Die Abbildung 2-1 stellt die unterschiedlichen Einsatzgebiete dar. Der dargestellte Prozentwert spiegelt den Anteil der Befragten wider, die angegeben haben, dass das System für ein bestimmtes Einsatzgebiet genutzt wird. Der Großteil der Anwendungsfälle lässt sich im Handel und hier besonders im eCommerce (47% und 41%) finden. Nur 25% der

Befragten setzen das AutoStore-System im Bereich der Produktion(-versorgung) ein. In den Interviews und Anlagenbegehungen hat sich gezeigt, dass der Einsatz eines AutoStore-Systems immer in Verbindung mit einem Kommissionierprozess steht. Eine klassische Bevorratung mit einer Ein- und Auslagerung von ganzen Lagereinheiten (Bins) findet in den betrachteten Systemen nicht statt.

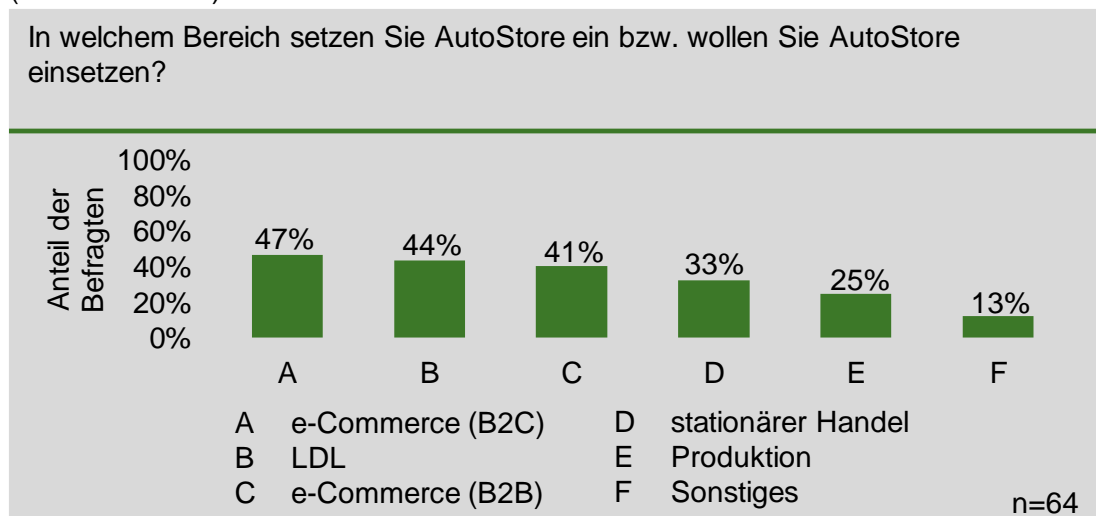


Abbildung 2-1

Fazit zu Strukturelle Daten

- 64 valide Studienteilnehmer, die den gesamten Fragebogen ausgefüllt haben, bilden eine ausreichend breite Basis für die Auswertungen.
- In den einzelnen Themenbereichen werden auch Antworten von Teilnehmern in die Analyse einbezogen, die den entsprechenden Bereich vollständig ausgefüllt, allerdings die Umfrage nicht abgeschlossen haben.
- Die Ergebnisse der Studie repräsentieren vor allem das Meinungsbild im Handel und Dienstleistungssektor.
- Die Aussagen beziehen sich in der Regel auf ein AutoStore-System, welches eine Kommissionieraufgabe zu erfüllen hat.

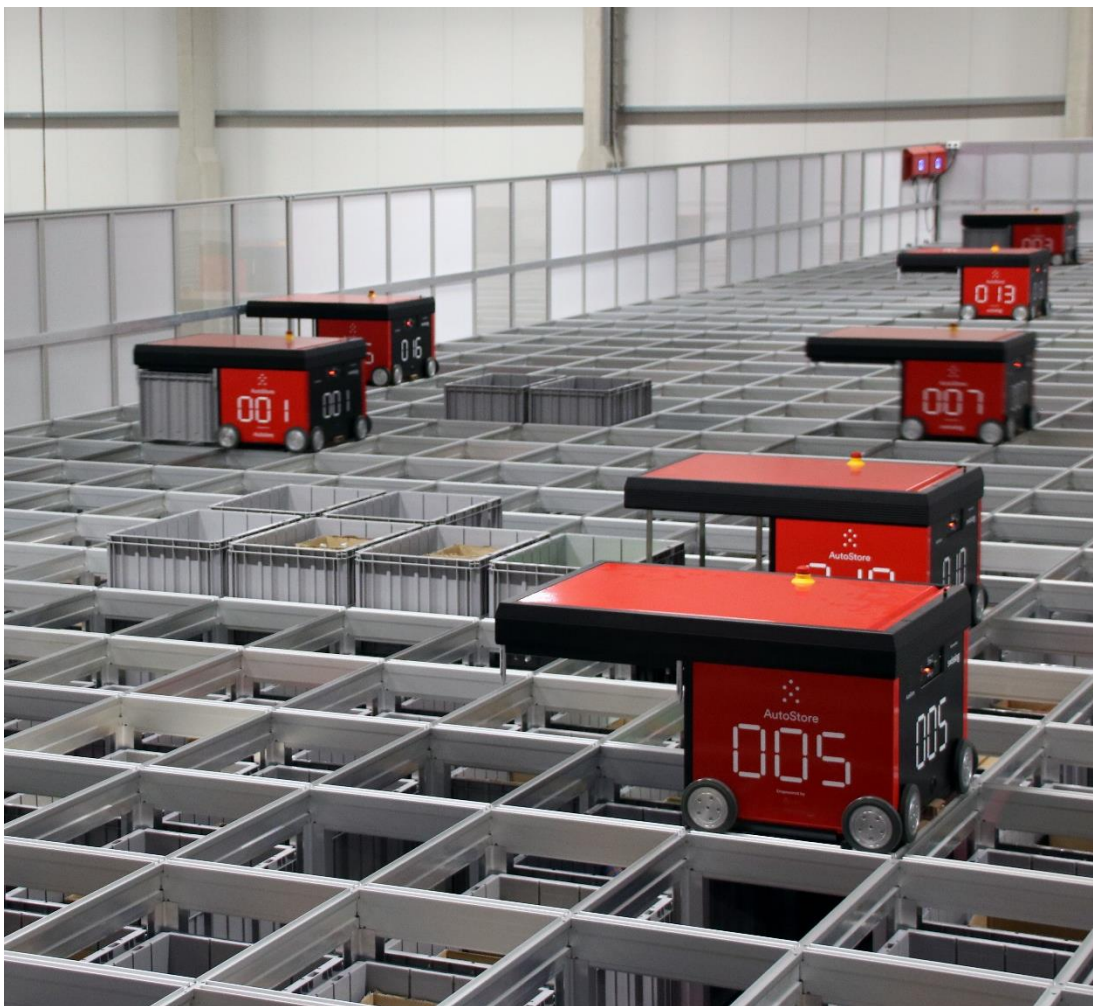


Foto 2-1

3. DAS AUTOSTORE-SYSTEM

In diesem Kapitel wird zunächst das AutoStore-System vorgestellt. Am Anfang wird kurz die Geschichte von AutoStore dargestellt. Im Anschluss werden die wesentlichen Komponenten und die Prozesse bei der Ein- und Auslagerung beschrieben. Am Ende des Kapitels werden wesentliche Systemkennzahlen, wie die Anzahl der Roboter und der Stellplätze, verglichen und Zusammenhänge aufgezeigt.

Geschichte und Entwicklung des AutoStore-Systems

Die Firma Hatteland aus Norwegen investierte in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts in ein neues Lager-system. Dieses Lager wurde als klassische Fachbodenregalanlage ausgeführt. Nach der Realisierung und der Inbetriebnahme zeigte sich, dass das neue Lager innerhalb kürzester Zeit an seine Grenzen kam und für die weitere Expansion zusätzliche Lagerkapazitäten notwendig waren.

Eine großzügige Erweiterung des neuen Lagers konnte nicht finanziert werden, so dass andere Lösungen gefunden werden mussten. Der damalige CEO der Hatteland Gruppe, Ingvar Hognaland, prägte die Idee, es sollte die Luft aus dem Lager gelassen werden. („Stop airhousing, start warehousing“). Auf Grundlage dieser Idee wurden die ersten Konzepte für das heutige AutoStore-System entwickelt. Regale und Gassen wurden im Lager eliminiert und stattdessen die Ladungsträger aufeinandergestellt.

Hatteland entwickelte einen Prototyp und erprobte das System im eigenen Lager. Anfang dieses Jahrtausends entschloss sich Hatteland das System

zu kommerzialisieren und anderen Unternehmen als Lagerlösung anzubieten.



Abbildung 3-1 AutoStore-Prototyp [Int-20]

Das Unternehmen wählte ein bewährtes Vertriebskonzept aus dem Elektronikbereich. Den Vertrieb und die Projektrealisierung übernehmen Distributionspartner, damit der Hersteller sich auf die Produktion konzentrieren kann.

Heute kümmert sich AutoStore AS in Nedre Vats (Norwegen) um die Produktentwicklung und Herstellung des AutoStore-Systems. Das Unternehmen unterhält mehrere Tochterunternehmen weltweit, die für die entsprechenden Märkte zuständig sind.

Quellen: [Pod-19, Int-20]

Die fünf Hauptkomponenten des AutoStore-Systems

Ein AutoStore-System setzt sich aus fünf wesentlichen Komponenten zusammen. Dazu gehört das **Grid**, welches mit den **Bins** befüllt wird. Die **Roboter**, welche die Bins aus dem Grid holen und an die **Ports** für die Ein- und Auslagerung befördern. Das Ganze wird durch den **Controller** orchestriert und gesteuert.

Die Grundstruktur des AutoStore-Systems wird durch das **Grid** bestimmt. Damit definiert das Grid die Form und damit die Größe als auch die Lagerkapazität des Systems. Das Grid ist eine selbsttragende Aluminiumstruktur, die sich in Summe aus 17 Grundkomponenten zusammensetzt. Wesentlich dabei sind die vertikalen und horizontalen Aluminiumprofile, die für die Stabilität der Bin-Stapel sorgen. Die Roboter fahren auf der Oberseite des Grids. Zum Ausgleich von Kräften wird das Grid auf Federn gelagert. Die Voraussetzung für einen komplikationsfreien Aufbau des Grids ist ein sehr ebener Boden.

Das Grid wird mit den **Bins** befüllt, die als Lagerhilfsmittel für die zu lagernden Artikel genutzt werden. Die Grundfläche der Bins ist immer gleich (B=449mm/L=649mm). Hinsichtlich der Höhe gibt es unterschiedliche Bins. Da die gesamte Höhe des Autostore-Systems auf 5,4 Meter beschränkt ist, definiert die Höhe der Bins gleichzeitig die maximale Anzahl an Bins, die übereinandergestellt werden können. Es werden folgende Höhen angeboten:

- 220 mm (Stapelhöhe: 24 Bins)
- 330 mm (Stapelhöhe 16 Bins)
- 425 mm (Stapelhöhe: 14 Bins)
(425 mm hohe Bins können nur

mit Robotern der BlackLine gehandhabt werden)

Aktuell kann nur ein Behältertyp in einem AutoStore-System gleichzeitig eingesetzt werden. Um die Lagerausnutzung zu erhöhen, können die Bins unterteilt werden, so dass bei geringen Beständen oder kleinen Produkten auch mehrere Artikel in einem Bin gelagert werden können.

Beim Befüllen der Bins und auch bei der späteren Kommissionierung muss auf die Füllhöhe des Behälters geachtet werden. Ein „Überfüllen“ der Bins führt zu Störungen im System. Weiterhin ist das Gewicht pro Behälter auf maximal 30 kg oder 35 kg beschränkt (inkl. Ladungsträger). Das maximale Gewicht pro Bin ist abhängig von den eingesetzten Robotern.

Die genutzten Bins sind speziell für das AutoStore-System entwickelt wurden. Der Einsatz von z.B. VDA-KLTs ist nicht möglich. Die Zuverlässigkeit des Systems wird stark durch die Qualität (Zustand) der Bins beeinflusst. Beschädigte oder deformierte Bins führen zu Störungen. Aus diesem Grund sollten neue Bins vor der ersten Einlagerung hinsichtlich der Abmessungen überprüft werden.

Die Bins werden von den **Robotern** gehandhabt. Aktuell werden zwei unterschiedliche Versionen des Roboters angeboten. Die sogenannte Redline (R5) stellt die Basisversion der Roboter dar. Mit der Redline können Bins bis zu einem Gewicht von 35 kg bewegt werden. Die maximale Geschwindigkeit dieser Roboter beträgt 3,1 m/s. Die zweite Version des Roboters wird als

„Blackline“ (B1) bezeichnet. Dieser Roboter erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 4 m/s und erlaubt den Transport von Bins mit einem maximalen Gewicht von 30kg. Roboter der Blackline fahren für die Aufnahme eines Bins direkt über den Schacht, in dem sich der Behälter befindet. Der Roboter der Redline hat einen „Ausleger“, an dem das Lastaufnahmemittel befestigt ist. Damit muss der R5 bereits vor dem Schacht anhalten, aus dem der Bin ausgelagert werden soll. Die kompaktere Bauform der Blackline reduziert mögliche Behinderungen zwischen den Robotern, was vor allem bei hoch performanten Systemen von Vorteil ist.

Die vierte wesentliche Komponente eines AutoStore-Systems sind die **Ports**. Die Ports sind die Schnittstelle zu Mitarbeitern, die die Artikel aus den Bins entnehmen oder Artikel in die Bins legen. Grundsätzlich ist auch ein automatisiertes Picken am Port durch Roboter möglich. Allerdings übernehmen diese Aufgabe in den aller meisten Fällen die Mitarbeiter.

AutoStore bietet vier unterschiedliche Port-Typen an. Die Auswahl des geeigneten Port-Typs ist von den Leistungsanforderungen (Anzahl Behälterpräsentationen pro Stunde) abhängig.

Der **Conveyor-Port** ist die einfachste Bauform für einen Port und ist als Prinzipskizze in Abbildung 3-2 dargestellt. Der Port wird über einen Schacht mit Bins bedient (dieser Schacht kann nicht für die Lagerung genutzt werden). Der neue Bin kann bereits vom Roboter auf das Auslagerniveau abgelassen werden und wird auf einem Riemenförderer gepuffert. Nachdem der Kommissionierer den alten Bin freigegeben hat

(Pick beendet), wird der alte Bin abgefördert, vom Roboter übernommen und angehoben. Nach dem Anheben des alten Bins kann der neue Bin zum Arbeitsplatz gefördert werden. (Dauer des Bin-Wechsels 5-7 Sekunden).

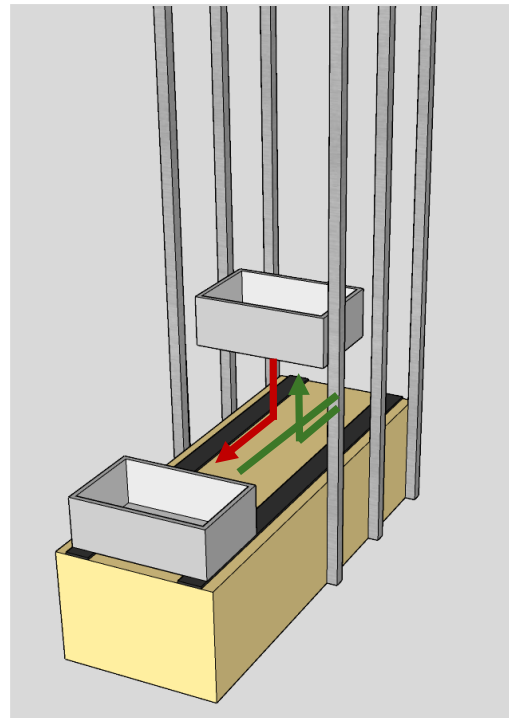


Abbildung 3-2

Der **Swing-Port** (Abbildung 3-3) hat eine ähnliche Leistung wie der Conveyor-Port. Bei diesem Konzept übernimmt ein spezieller Lift den vertikalen Transport der Bins. Damit entfallen keine Stellplätze im Grid und die Roboter können schneller die Bins abgeben und einen neuen Auftrag übernehmen. Der Swing-Port hat zwei Rahmen, auf die die Bins abgestellt werden können. Diese Rahmen sind an einer drehbaren Welle befestigt, damit ist ein gleichzeitiger Abtransport des alten Bins und die zeitgleiche Bereitstellung eines neuen Bins möglich. Die Zeit für einen Behälterwechsel liegt bei ca. 3 Sekunden.

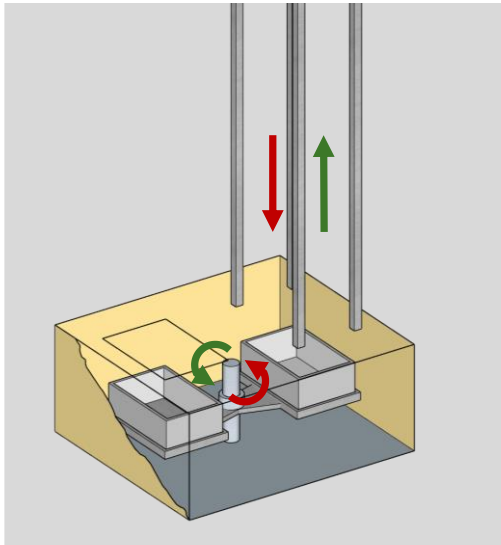


Abbildung 3-3

Für höhere Leistungen ist der **Carousel-Port** gedacht. Dieser Port-Typ wird aktuell am häufigsten in den AutoStore-Systemen verwendet und erlaubt bis zu 500 Behälterpräsentationen pro Stunde. Der Carousel-Port wird über zwei Schächte von den Robotern mit Bins versorgt. Damit kann gleichzeitig ein neuer Bin bereitgestellt und ein alter Bin durch einen anderen Roboter abgeholt werden. Die Bins werden vom Roboter abgelassen und ähnlich wie beim Swing-Port auf einen Rahmen abgestellt. Dieser ist drehbar gelagert. Anders als beim Swing-Port können beim Carousel-Port die Rahmen unabhängig voneinander bewegt werden (wobei Kollisionen zwischen den Bins/Rahmen beachtet werden müssen). Dieser Porttyp hat drei Rahmen und kann somit 3 Bins gleichzeitig aufnehmen. Bei einem Behälterwechsel muss der Mitarbeiter ca. 2 Sekunden warten, wenn der Bin bereits auf einen der Rahmen abgestellt wurde.

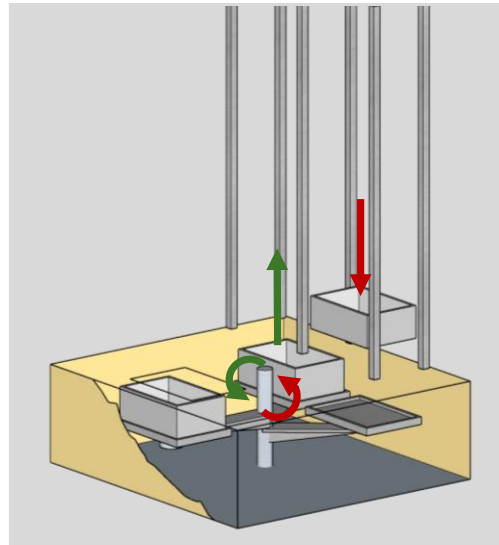


Abbildung 3-4

Der leistungsfähigste und auch neueste Porttyp ist der **Relay-Port**. Diese Art von Port besteht aus zwei unterschiedlichen Bestandteilen. Das Kommissioniermodul dient zur eigentlichen Entnahme der Artikel aus dem Bin. Ein Relay-Port besitzt zwischen drei und sechs Puffermodule, die in das Grid integriert werden. In Abhängigkeit der Anzahl Puffermodule, kann der Port über eine unterschiedliche Anzahl an Schächten durch die Roboter versorgt werden. Anders als bei den anderen Porttypen, bei denen die „Versorgungsschächte“ am Rand des Grids liegen und damit nicht von allen Seiten angefahren werden können, gibt es beim Relay-Port Schächte, die im Grid liegen und damit von allen Seiten angefahren werden können. Dies entzerrt den Verkehr an den „Versorgungsschächten“. Für einen Behälterwechsel muss der Mitarbeiter bei diesem Porttyp ca. 1,5 Sekunden warten. Der Relay-Port ist in Bild 3-1 zu sehen.

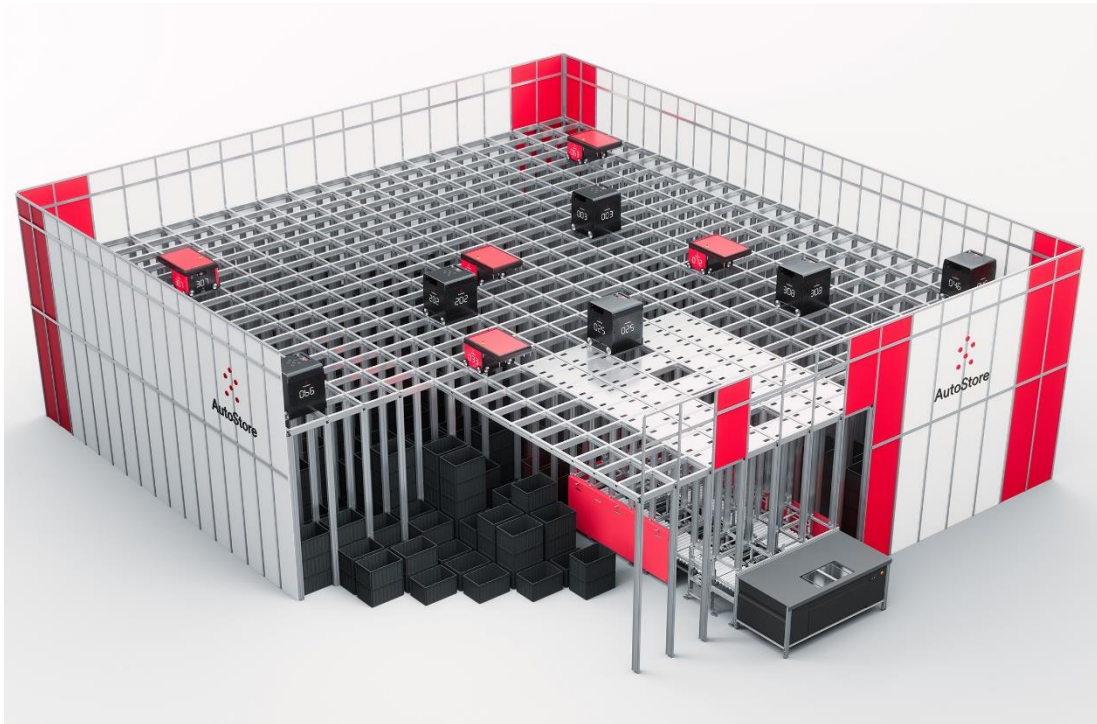


Foto 3-1

Die Tabelle 3-1 fasst die Leistungskennzahlen der unterschiedlichen Porttypen nochmals zusammen. Die Leistungsfähigkeit eines Ports wird auch dadurch bestimmt, ob die Ports auf dem Boden aufgestellt werden (A) oder sich auf einer Zwischenebene befinden (B). Bei einer Aufstellung auf einer Zwischenebene ist der vertikale Weg für das Ablassen bzw. Aufnehmen der Bins durch den Roboter kürzer. Dies wirkt sich positiv auf die Leistung aus.

Es gibt AutoStore-Systeme, bei denen sich die Ports nicht am Rand des Grids befinden. Vor allem in größeren Systemen können die mittleren Fahrwege für den Roboter reduziert werden, wenn die Ports in der Mitte des Systems angeordnet werden.

Tabelle 3-1 Vergleich von Kennzahlen für unterschiedliche Porttypen. A entspricht einer Leistung (Bin-Präsentationen pro Stunde), wenn sich der Port auf dem Boden befindet. Bei B befindet sich der Port auf einer Zwischenebene. [Int-20]

Porttyp	Leistung	
	A	B
ConveyorPort	180	240
SwingPort	160	
CarouselPort	400	500
RelayPort	650	

Das Gehirn des AutoStore-Systems ist der **Controller**. Dieses steuert und kontrolliert das System. Zu den Aufgaben des Controllers gehört die Kontrolle und Koordination der Roboter (Verkehrssteuerung), die Verteilung und Terminierung der einzelnen Aufgaben sowie die Verwaltung der Bin-Positionen im Grid. Der AutoStore-Controller ist mit einem Materialflussrechner in anderen automatischen

Lagersystemen vergleichbar (mit Ausnahme der Positionsverwaltung der Bins).

Der Controller übernimmt nicht die Verwaltung der Bestände im AutoStore-System, dazu muss ein ERP- oder Lagerverwaltungssystem (LVS) eingesetzt werden. Über die Schnittstellen werden dem AutoStore-Controller die Auslager- bzw. Einlageraufträge übergeben. Dabei kennt das System nur

eine eindeutige Bin-Nummer (ID). Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Übergabe von Aufträgen. In der Grundform übernimmt der AutoStore-Controller vollständig die Terminierung und Optimierung der Auftragsabarbeitung. Wenn das überlagerte Verwaltungssystem entsprechende Funktionen bietet, können dem Controller konkrete Vorgaben für die Abarbeitung der Aufträge übergeben werden.

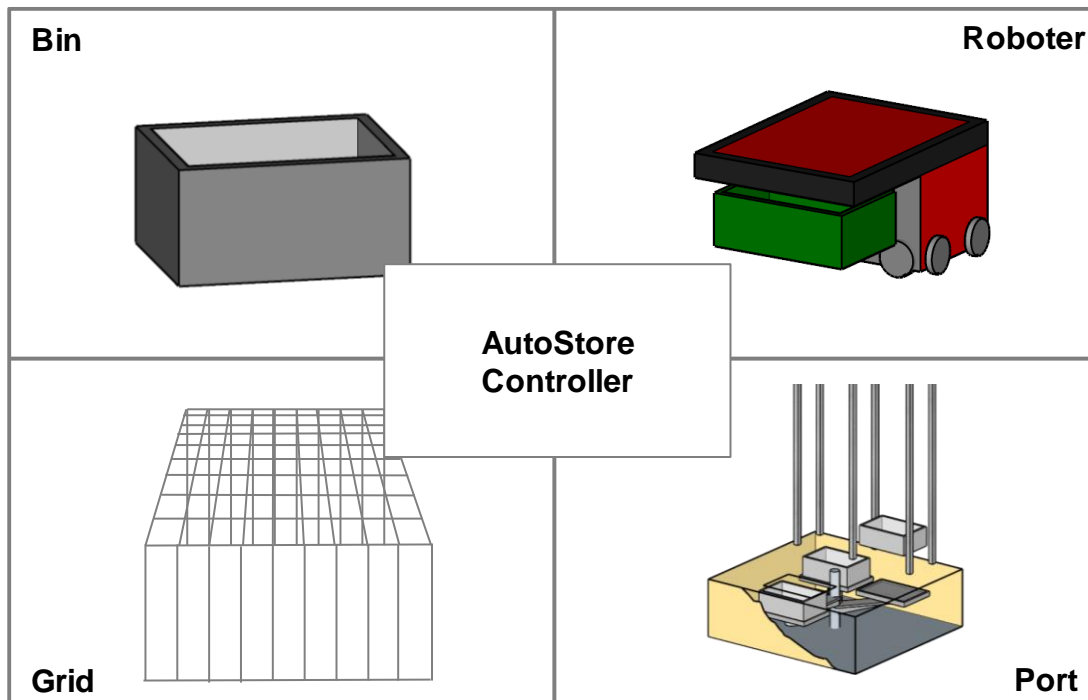


Abbildung 3-5

Die wesentlichen Prozesse in einem AutoStore-System

Das AutoStore-System wird in der Regel für die Kommissionierung verwendet. Es handelt sich dabei um eine Ware-zur-Person Kommissionierung (WzP). Wesentlich für die WzP-Kommissionierung ist die Bereitstellung von Artikel am Arbeitsplatz des Kommissionierers (Port). Dieser Vorgang wird auch als Behälterpräsentation bezeichnet. Nach der Entnahme durch den Kommissionierer muss der Bin wieder rückgelagert werden. Dies erfolgt auch, wenn der Bin leer ist. Leere Bins verbleiben im System und werden bei Bedarf für einen Wareneingang am Port bereitgestellt.

Damit muss hinsichtlich des Ablaufs nicht zwischen Wareneingang und Kommissionierung (Wareneingang) unterschieden werden. In beiden Fällen muss der Roboter einen Bin am Port bereitstellen (Auslagerung) und diesen dann später wieder abholen, als auch zurück ins Grid stellen (Einlagerung).

Im Folgenden wird kurz und vereinfacht der **Auslagerungsprozess** beschrieben. Eine grafische Darstellung des Vorgangs findet sich in Abbildung 3-6. Die Erläuterungen zur Abbildung sind im Text kursiv dargestellt. Der Controller erhält aus dem überlagerten System den Auftrag einen bestimmten Bin auszulagern. Der Controller ermittelt die Position des Bins im Grid (*Im Beispiel muss der grüne Bin ausgelagert werden*). Im besten Fall kann ein Roboter direkt auf den Bin zugreifen, da sich keine anderen Bins in einem Stapel über dem benötigten Bin befinden. Ist dies nicht der Fall, erzeugt der Controller Umlageraufträge für die Bins über dem gewünschten Bin. (*Im*

Beispiel müssen zwei Bins verräumt werden, der gelbe und der türkise Bin.) Dies wird auch als ausgraben bezeichnet. Die „störenden“ Bins werden von einem oder mehreren Robotern umgelagert. Dazu werden die Bins aus dem Schacht entnommen und in einem anderen Schacht abgestellt. (*Dieser Zustand ist für das Beispiel in der Mitte der Abbildung dargestellt; „Ausgraben“ beendet.*) Ist der Zugriff auf den benötigten Bin möglich, wird ein Roboter mit dessen Abholung beauftragt. Der Roboter transportiert den Bin dann direkt zum Port oder wenn der Bin dort noch nicht benötigt wird, wird dieser wie die umgelagerten Bins auf einen anderen Stapel (oberste Position) gestellt und später zum Port gebracht. Die umgelagerten Bins verbleiben aber nicht an ihrer neuen Position. Der Controller beauftragt Roboter mit der Rücklagerung dieser Bins. Dabei wird auf die Reihenfolge geachtet. Die Bins werden in der gleichen Reihenfolge in den Schacht eingelagert. (*Die Situation nach der Rücklagerung der verräumten KLT ist rechts in der Abbildung dargestellt.*)

Dies ist eine der Grundphilosophien des AutoStore-Systems. Nur der Zugriff an einem Port verändert die Position eines Bins im Schacht. Damit wird automatisch eine ABC-Zonierung erreicht, da Artikel mit einer hohen Zugriffshäufigkeit tendenziell weiter oben im Schacht gelagert werden und damit der Aufwand für die Auslagerung von A-Artikel gering ist. In Abhängigkeit der Zugriffsverteilung über das Sortiment, liegt die mittlere Grabtiefe oft nur bei 1,5-2,5 Bins. Die mittlere Gradetiefe gibt an, wie viele Bins im Mittel für eine Auslagerung umgelagert werden

müssen, damit der Ziel-Bin durch einen Roboter erreicht werden kann.

Die Einlagerung eines Bins ist relativ schnell erläutert. Der Bin wird nach der Freigabe durch einen Roboter am Port abgeholt und unter Berücksichtigung der freien Plätze in einen zufällig

ausgewählten Schacht zurückgelagert. Dabei wird der Bin immer auf die oberste Position im Schacht gestellt, auch wenn es ein Artikel ist, der sehr selten benötigt wird. Der Bin mit „Langsamdrehern“ (C-Artikel) wird über die Zeit immer weiter im Schacht absinken.

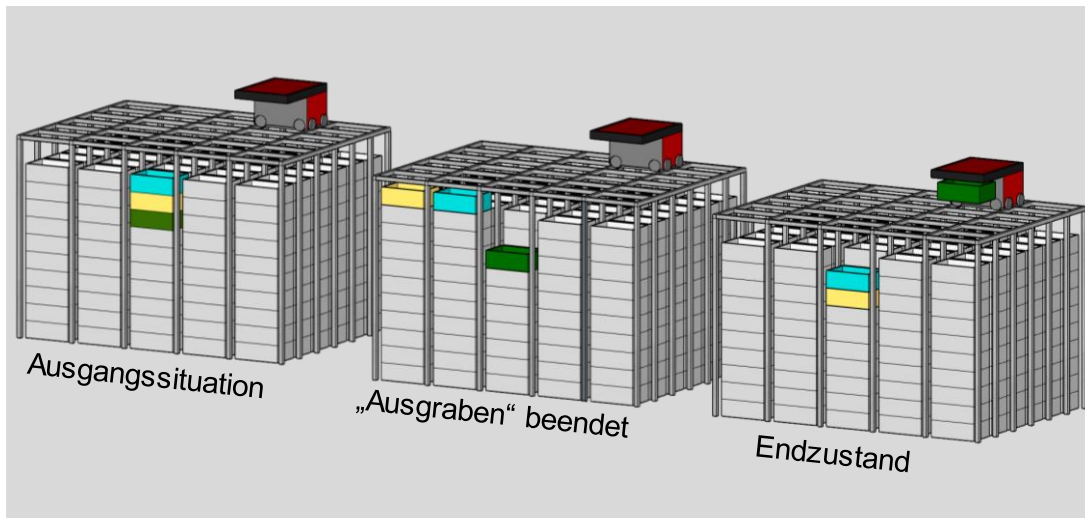


Abbildung 3-6

Systemvergleich – Größe und Leistung von AutoStore-Systemen

Bei der System-Dimensionierung müssen die Gridgröße (respektive die Anzahl Bins), die Anzahl Ports und die notwendige Anzahl Roboter festgelegt werden. Im Rahmen der Onlinebefragung und der Interviews haben die Befragten Kennzahlen zur Systemauslegung angegeben. Dies waren Angaben zur Gridgröße und die davon aktuell genutzte Gridgröße, die Anzahl Roboter und die Anzahl Ports. Diese Kennzahlen wurden durch Rechercheergebnisse erweitert. Leider war es nicht möglich für alle Systeme, die im Rahmen der Recherche untersucht wurden, vollständige Kennzahlen-Sets zu bestimmen. Insgesamt wurden 71

Systeme bei der Analyse der Systemkennzahlen berücksichtigt.

Die Gridgröße definiert die maximale Lagerkapazität des AutoStore-Systems. Die mittlere Gridgröße (Median) in der Untersuchung kann mit 30.000 Plätzen angegeben werden. Das kleinste System hat nur 2.500 Plätze und das größte System bietet Platz für 500.000 Bins. In Abbildung 3-7 ist die Gridgröße als Histogramm dargestellt.

Bis auf vereinzelte Ausnahmen, ist das Grid bei den meisten Systemen vollständig mit Bins befüllt. Als Grund für eine geringere Anzahl von Bins (Füllgrad deutlich kleiner als 100%) wurde zumeist eine Erweiterungsplanung

angegeben. Dabei ist das Grid größer ausgelegt worden als es aktuell benötigt wird und soll zu einem späteren Zeitpunkt vollständig mit Bins befüllt werden. Bei diesen Systemen ist ein bestimmter Bereich des AutoStores für die Lagerung gesperrt und die Schächte bleiben komplett leer.

Da in der Regel die leeren Bins auch im AutoStore-System gelagert werden, ist der klassische Lagerfüllgrad (benutzte Plätze zur gesamten Anzahl an

Plätzen) für ein AutoStore-System nicht relevant. Vielmehr muss bei einem AutoStore-System der Lagerfüllgrad (besser Lagernutzungsgrad) aus dem Verhältnis zwischen befüllten Bins und leeren Bins bestimmt werden. Wie bei jeder anderen Lagertechnologie auch, ist ein Lagerfüllgrad von annähernd 100% nicht empfehlenswert. Die Festlegung eines sinnvollen Betriebspunktes ist von mehreren anwendungsspezifischen Faktoren abhängig und lässt sich nicht pauschal angeben.

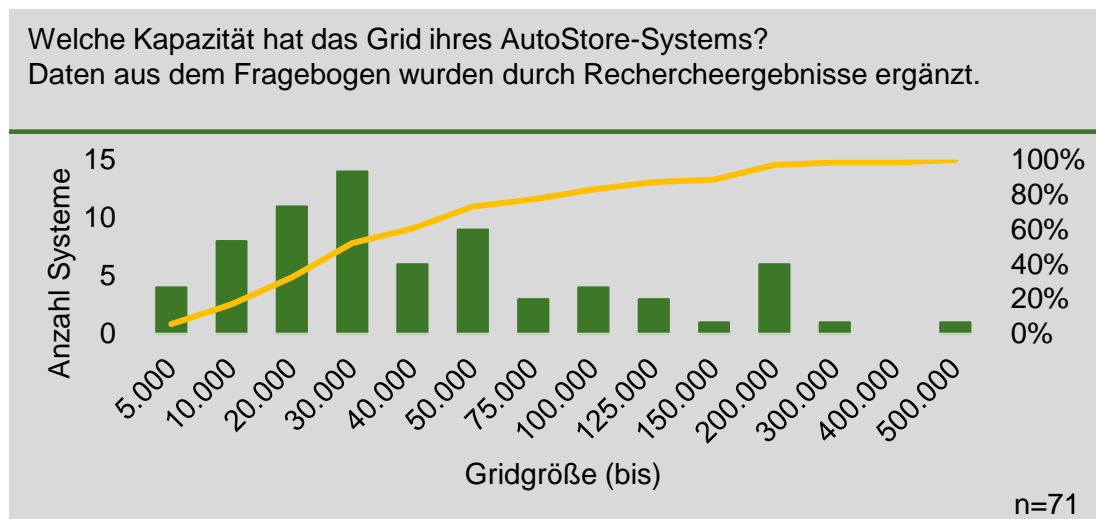


Abbildung 3-7

Die Roboter sind für die Ein-, Um- und Auslagerungen zuständig. In Abhängigkeit der notwendigen Anzahl an Ein- und Auslagerungen sowie den damit verbundenen Umlagerungen muss eine sinnvolle Anzahl Roboter festgelegt werden.

In der Untersuchung wurden im Mittel (Median) 35 Roboter eingesetzt. Im kleinsten System waren nur fünf

Roboter im Einsatz. Das 100fache davon, 500 Roboter, arbeiteten im größten System. Ein Histogramm in Abbildung 3-8 stellt die Anzahl Roboter in den untersuchten Systemen dar.

Für die Auslegung des Systems nutzen die AutoStore-Distributoren eine spezielle Software, die das zu planende System auf Grundlage von Auftragsdaten simuliert.

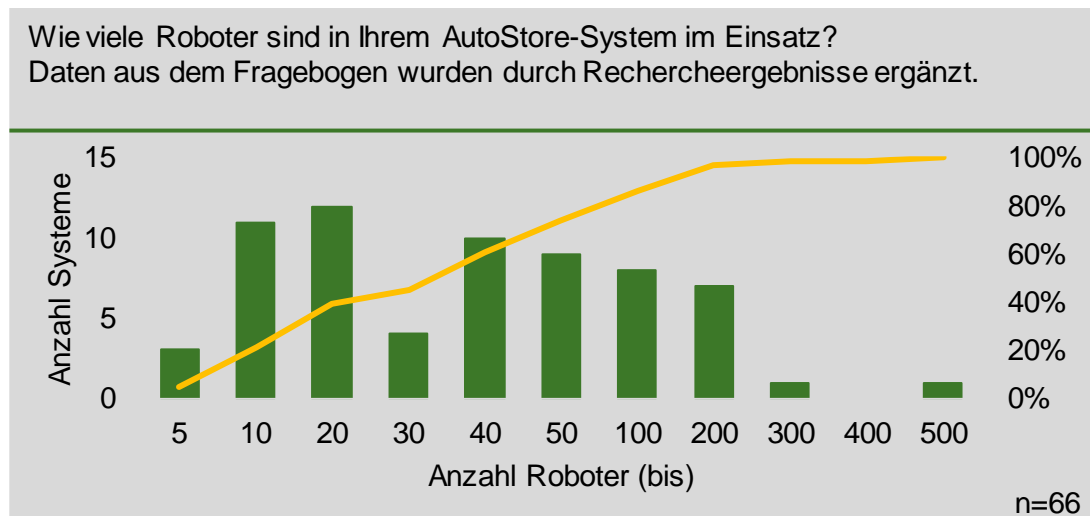


Abbildung 3-8

Die Bins werden an den Ports für die Ein- und Auslagerung bereitgestellt. Die Anzahl der Ports hat wesentlichen Einfluss auf die Systemleistung. Die betrachteten Systeme hatten mindestens zwei Ports im Einsatz. Dies ist unabhängig von der Leistung schon aus Gründen der Systemverfügbarkeit (Redundanz bei technischen Störungen an einem Port) sinnvoll. Im größten System hinsichtlich der Portanzahl, konnte an 50 Ports gleichzeitig

gearbeitet werden. Im Mittel (Median) besaßen die betrachteten Systeme acht Ports.

In dieser Untersuchung wurden alle Ports eines Systems zusammengefasst. Es wurde nicht zwischen Einlagerport, Auslagerport oder Ein- und Auslagerport differenziert. Die Darstellung der Portanzahl als Histogramm kann der Abbildung 3-9 entnommen werden.

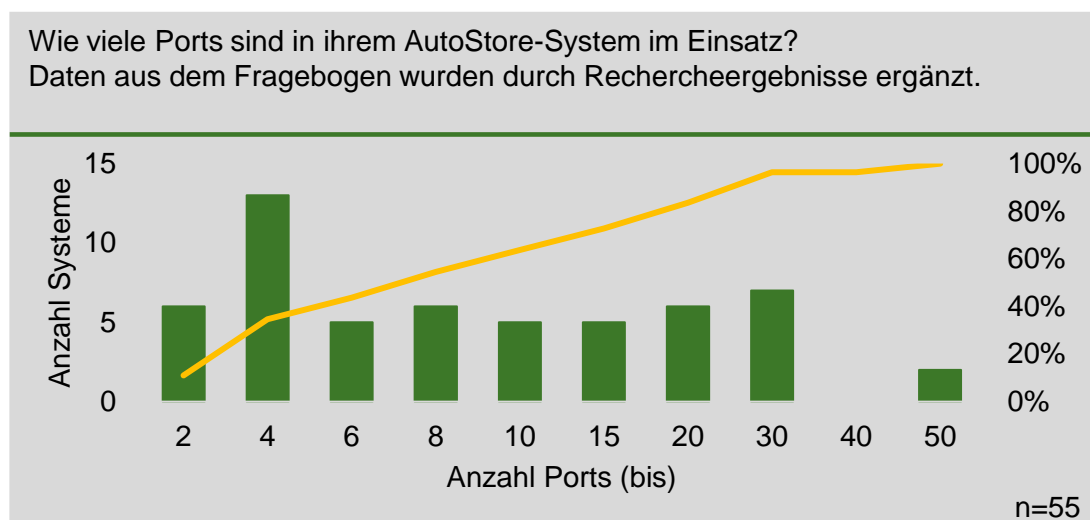


Abbildung 3-9

Die Leistungsfähigkeit des Systems resultiert aus dem Zusammenspiel von Gridgröße, Roboter- und Portanzahl. Weitere Faktoren sind die Prozesszeit der Mitarbeiter an den Ports, die Zugriffsstruktur im Sortiment und die Organisation bei der Auftragsbearbeitung (z.B. Freigabezeitpunkte, Single- oder Multi-Order-Picking, usw.). Im Folgenden sollen die drei bereits dargestellten Kenngrößen in Abhängigkeit zueinander betrachtet werden.

Abbildung 3-10 stellt die Kenngrößen Roboteranzahl und Gridgröße zueinander dar. In dieser Abbildung sind 66 Systeme als Datenpunkt visualisiert. Die sehr großen Systeme in der Analyse führen dazu, dass eine visuelle Differenzierung für den Großteil der Systeme kaum möglich ist (Ballung unten links im Diagramm).

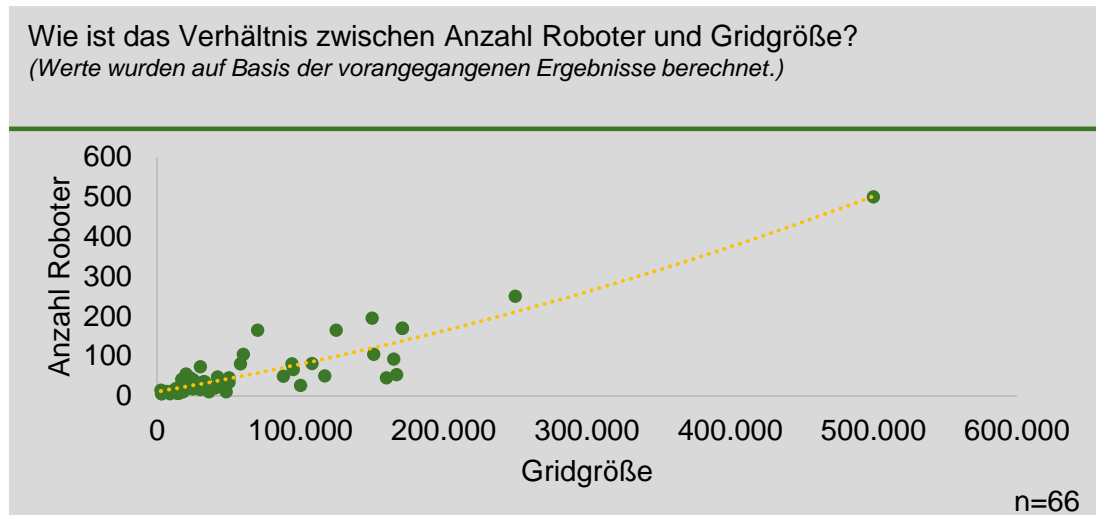


Abbildung 3-10

Aus diesem Grund wurde der dargestellte Wertebereich für die Anzahl Roboter und die Gridgröße auf den Bereich bis zum oberen Quartil begrenzt. Damit werden 75% der analysierten Systeme hinsichtlich der beiden betrachteten Kennzahlen dargestellt.

Die lineare Trennlinie in Abbildung 3-11 zeigt, dass tendenziell größere

Systeme (Anzahl Gridplätze) auch mehr Roboter nutzen. Allerdings zeigt die Abbildung auch, dass das Verhältnis zwischen Gridplätzen und Roboteranzahl sehr unterschiedlich sein kann. Es lässt demnach die Schlussfolgerung zu, dass das Verhältnis zwischen Gridplätzen und Robotern anwendungsspezifisch bestimmt werden muss.

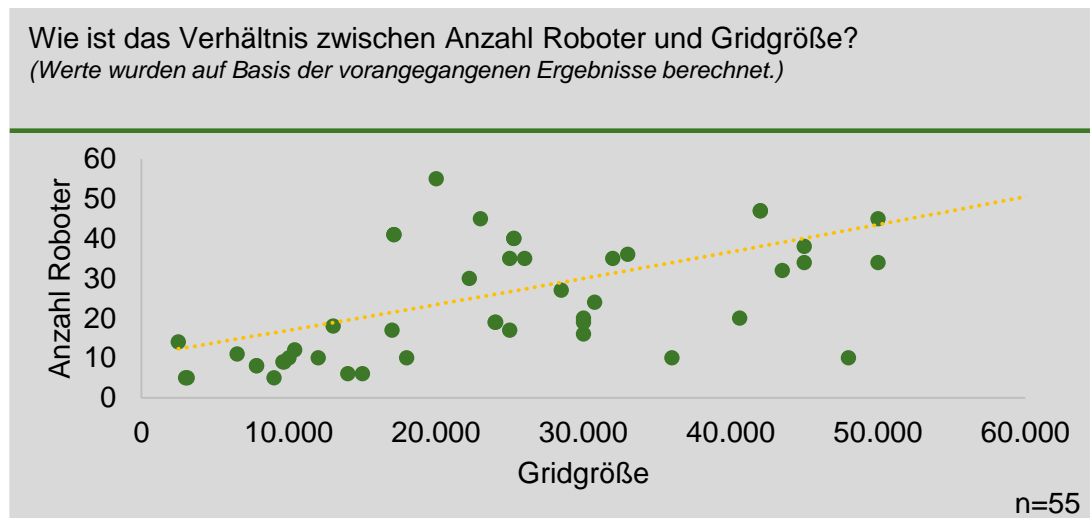


Abbildung 3-11

Wird für jedes der betrachteten Systeme das Verhältnis zwischen Gridplätzen (Zähler) und Roboteranzahl (Nenner) bestimmt, lässt sich diese Verhältniskennzahl wieder in einem Histogramm darstellen (siehe Abbildung 3-12).

In einem Wertebereich von 500 bis 1.500 Gridplätzen pro Roboter lassen sich die meisten der betrachteten Systeme einordnen (68%). Dieses sehr unterschiedliche Verhältnis zwischen den Systemen unterstreicht die bereits getroffene Aussage, dass die Auslegung des Systems stark von den projektspezifischen Anforderungen abhängig ist.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass die Gridgröße in der Regel in Abhängigkeit der eingesetzten Bingröße angegeben wird. Damit lässt sich durch den Vergleich der Gridgröße nicht direkt auf das Lagervolumen und die Anzahl Bin-Stapel (Stacks) im AutoStore-System schließen.

Hinsichtlich der Verkehrsplanung für die Roboter ist das Verhältnis zwischen Anzahl Stapel (Stacks) und Roboteranzahl interessant. Umso kleiner diese Verhältniskennzahl ist, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass es zu Behinderungen zwischen den Robotern kommt und damit die Leistungsfähigkeit pro Roboter sinkt.

Als Faustformel wird ein Verhältnis von mindestens 6:1 angegeben. Pro Roboter müssen mindestens 6 Stacks vorhanden sein, damit das System sinnvoll betrieben werden kann. Für einige Systeme in der Untersuchung konnte dieses Verhältnis bestimmt werden. Alle Systeme liegen weit über dem angegebenen Mindestverhältnis. Es lässt sich vermuten, dass nur in sehr extremen Fällen die Roboterdichte auf dem Grid so hoch ist, dass dies zu Problemen führt. Es sei aber auch angemerkt, dass bisher keine Untersuchungen veröffentlicht wurden, die die Auswirkung der Roboteranzahl auf die Leistung pro Roboter (Grenzleistung des Roboters) analysieren.

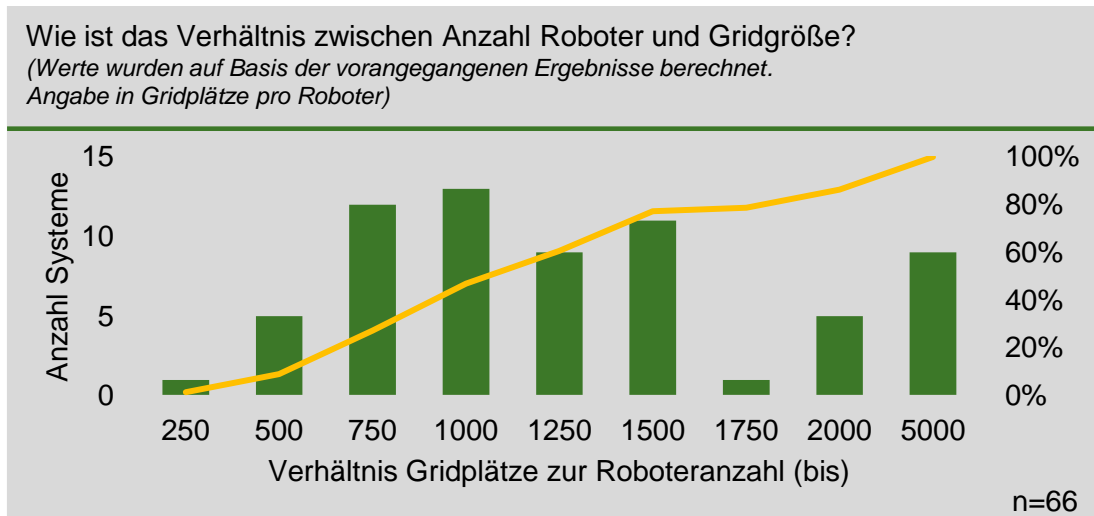


Abbildung 3-12

Auch das Verhältnis zwischen Gridgröße (Zähler) und Portanzahl (Nenner) wurde analysiert. Das Ergebnis wird in Abbildung 3-13 gezeigt.

Die meisten Systeme liegen zwischen 3.000 Plätzen pro Port (unteres Quartil) und 6.000 Plätzen pro Port (oberes Quartil).

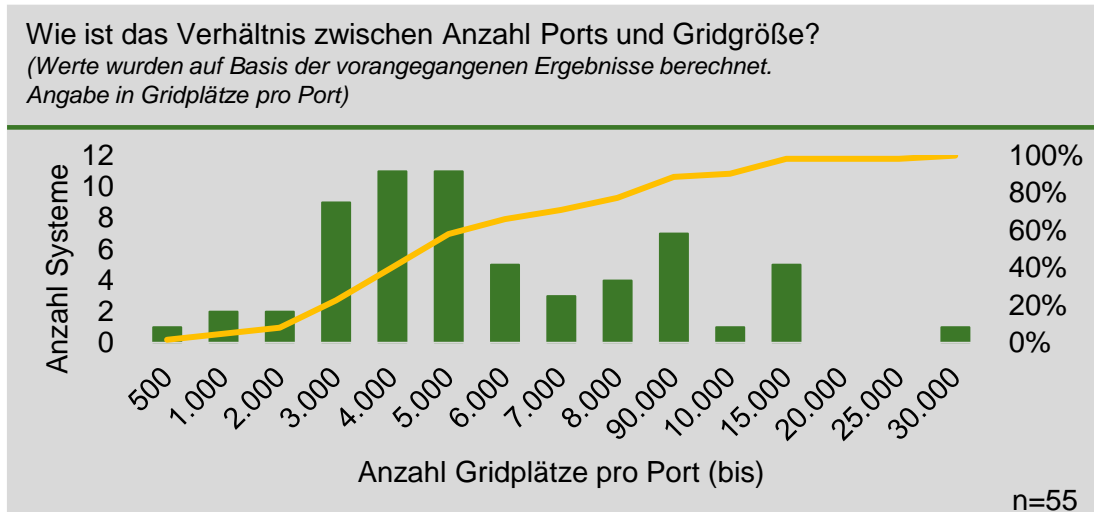


Abbildung 3-13

Die letzte untersuchte Verhältniskennzahl beschreibt den Zusammenhang zwischen Roboteranzahl (Zähler) und Portanzahl (Nenner). Im kleinsten System hinsichtlich dieser Kennzahl wurde nur ein Roboter pro Port eingesetzt.

Beim größten System hingegen versorgen 20 Roboter einen Port.

In Abbildung 3-14 lässt sich erkennen, dass in den meisten Systemen zwischen drei und vier Roboter pro Port eingesetzt werden.

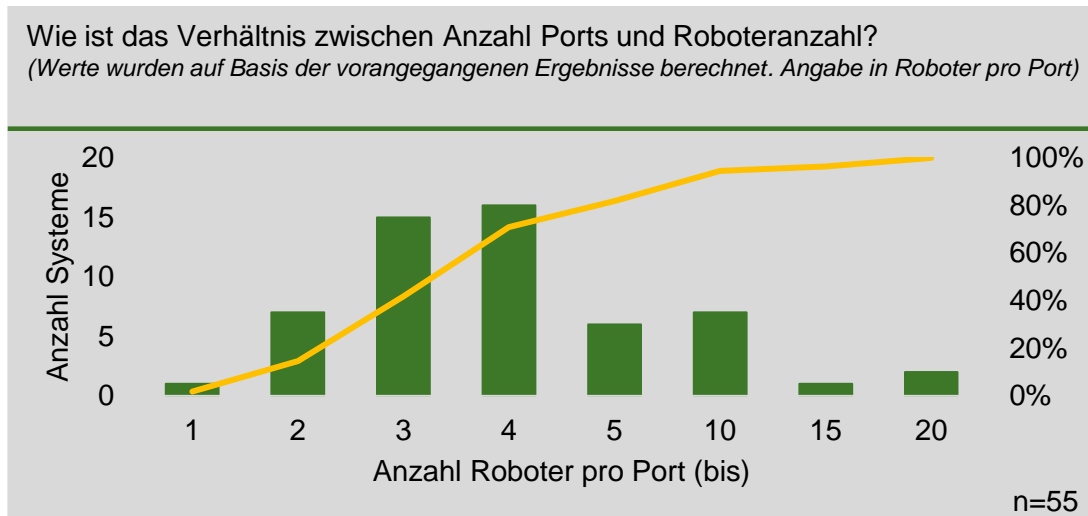


Abbildung 3-14

Die folgenden Auswertungen beziehen sich auf die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das System. In der Regel werden automatisierte Lagersysteme in zwei oder drei Schichten betrieben. Auch AutoStore-Systeme werden zumeist in drei Schichten (58%) oder zwei Schichten (18%) genutzt. Allerdings gibt es einige Systeme (23%), die nur einschichtig im Einsatz sind. Abbildung 3-15 stellt die Verteilung der Betriebszeiten der untersuchten AutoStore-Systeme dar.

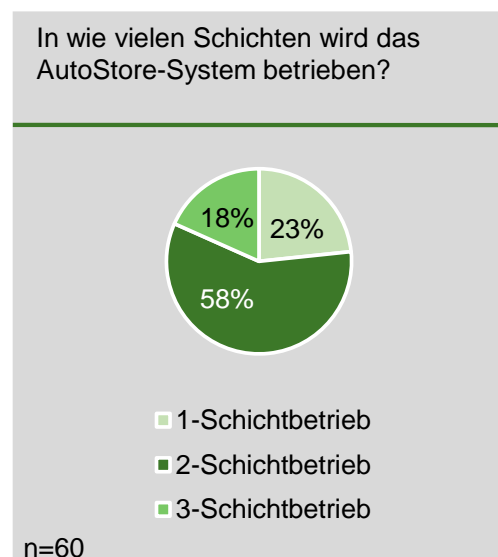


Abbildung 3-15

Da keine vergleichbare Untersuchung für andere automatisierte Lagersysteme vorliegt, ist eine Bewertung der Einsatzzeiten schwierig.

Aus Sicht der Autoren ist für viele Nutzer das AutoStore-System oft ein erster Schritt in die automatisierte Lagertechnik. Aus der Gruppe der befragten AutoStore-Nutzer antwortete nur eine Person auf die Frage „Haben Sie bereits ein anderes automatisches Lager in Nutzung?“ mit ja.

Ein Teil der befragten Personen hat Angaben zum geforderten Durchsatz (in Auftragspositionen) gemacht. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Angaben zu ermöglichen, wurde für jedes System eine neue Kennzahl bestimmt. Diese Kennzahl beschreibt den Durchsatz, den ein Roboter pro Stunde erfüllen muss. Dabei wurde neben den Angaben zum Durchsatz, die Schichtanzahl und die Anzahl der Roboter im System berücksichtigt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3-16 dargestellt.

In vielen Systemen hat der Roboter zwischen 5 und 10 Auftragspositionen abzuarbeiten. Dies beinhaltet aber

auch die notwendigen Umlagerungen, den Rücktransport der Bins nach der Entnahme und auch die Einlagerungen neuer Waren, die nicht separat abgegeben wurden. Damit ist die Anzahl der Arbeitsspiele pro Roboter und Stunde deutlich höher als 5 bis 10 Spiele.

Aspekte, wie zum Beispiel die ABC-Struktur und die Kommissionierstrategie (Single-Oder-Picking oder Multi-

Oder-Picking), beeinflussen die dargestellte Leistungskennzahl ebenfalls.

Kritische Betrachtung: Eine Leistung von bis zu 100 Auftragspositionen pro Stunde wird als eher unrealistisch erachtet. Eine Verifizierung der Angaben war im Studiendesign nicht vorgesehen.

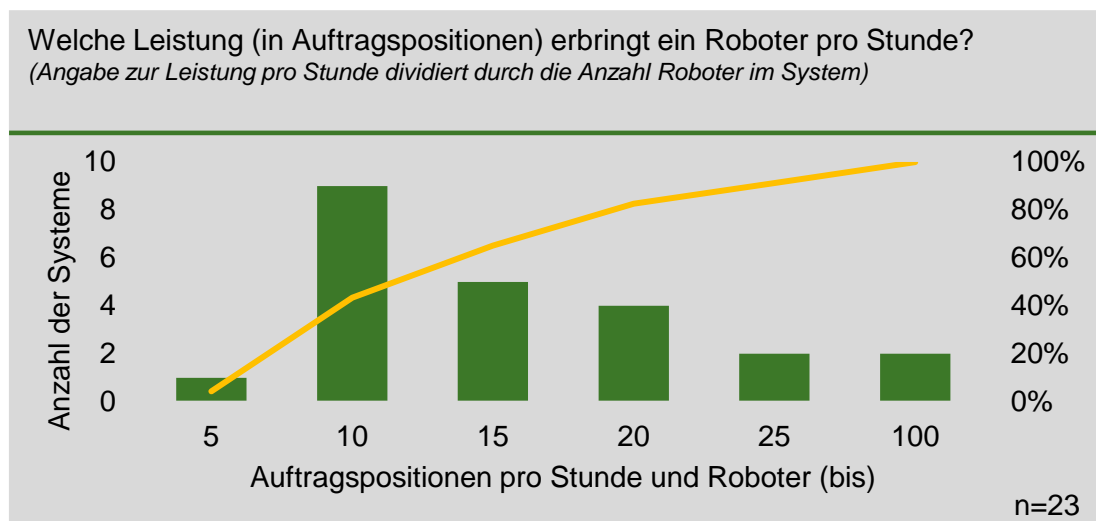


Abbildung 3-16

Ein weiterer Aspekt, der die Leistung eines AutoStore-Systems beeinflusst, ist die Anzahl Bins pro Artikel (Stock Keeping Unit – SKU). Da in einem Bin auch mehrere unterschiedliche Artikel gelagert werden können, kann der Wert für einen konkreten Artikel auch kleiner als eins sein. Allerdings war die mittlere Anzahl an Bins pro Artikel in der Untersuchung bei allen Systemen größer eins. Das Histogramm in Abbildung 3-17 stellt die Verteilung der mittleren Anzahl Bins pro Artikel dar. Bei 75 Prozent der untersuchten Systeme ist dieser Wert größer als ein Bin aber auch kleiner gleich fünf Bins. Dies bedeutet allerdings nicht, dass einzelne Artikel (Schnelldreher) nicht eine

deutlich höhere Anzahl an Bins im System belegen.

Die Bevorratungs- und Nachschubstrategie sollte im Rahmen der Planung ausführlich besprochen werden. Eingangs ist behauptet worden, dass die Anzahl der Bins pro Artikel die Leistung des AutoStore-Systems beeinflussen kann. Dieser Zusammenhang soll genauer beleuchtet werden.

Die Zugriffsstruktur auf das Sortiment (auch ABC-Struktur genannt) beeinflusst die Leistung (siehe dazu auch Kapitel 4 und 8). Folgt diese Struktur einer typischen Paretoverteilung (20% der Artikel „verursachen“ 80% des

Materialflusses), ist ein AutoStore-System oft sehr gut geeignet, da die Schnelldreher sich in den oberen Ebenen des Grids befinden. Wird diese Verteilung flacher, dann konzentriert sich der „verursachte“ Materialfluss nicht nur auf 20% der Artikel, sondern

z.B. auf 40% der Artikel. Da die Plätze in den oberen Ebenen des Grids beschränkt sind, müssen die Roboter wahrscheinlich häufiger Bins „ausgraben“, was die Leistung gemessen in Auftragspositionen beeinflusst.

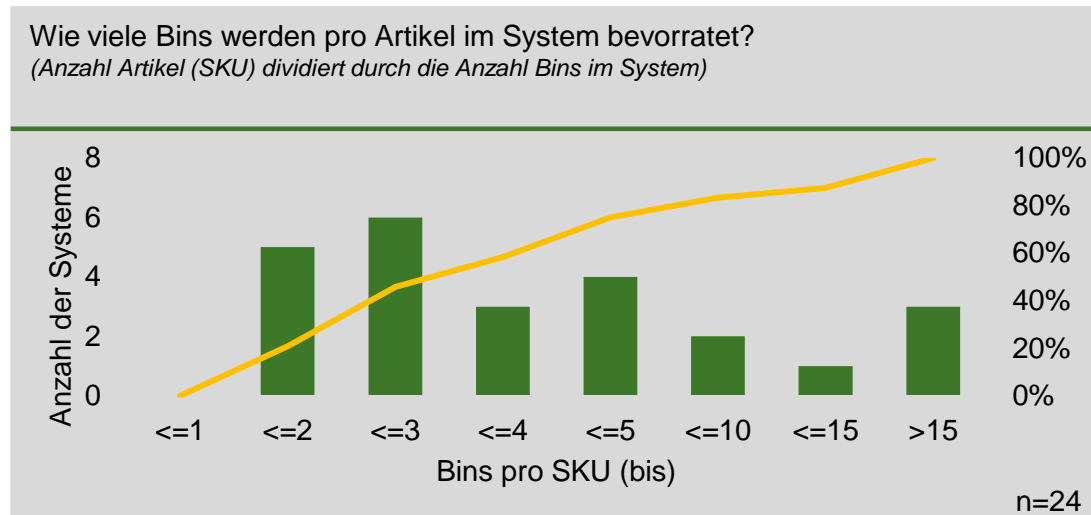


Abbildung 3-17

Wie beeinflusst aber nun die Bevorratungs- und Nachschubstrategie die Leistung? Eine tiefergehende Betrachtung des beschriebenen Sachverhaltes lässt den Schluss zu, dass nicht die Zugriffsverteilung auf das Sortiment entscheidend ist, sondern die Zugriffsverteilung pro Bin. Werden z.B. immer größere Mengen eines Artikels (Schnelldreher) eingelagert, werden diese nach der Einlagerung in der oberen Ebene des Grids abgestellt. Einige dieser Bins des Schnelldrehers werden sicherlich in den oberen Ebenen verbleiben, da diese für die Kommissionierung benötigt werden. Andere sinken im Grid ab. Wenn diese später benötigt werden, müssen Sie ausgegraben werden.

Dies wurde auch in den Interviews mit den Nutzern bestätigt. Diese

empfehlen eine kontinuierliche Einlagerung in kleineren Mengen und ggf. eine Bevorratung größerer Mengen (z.B. auf Palette) in einer anderen Lagerzone.

Ein Nutzer berichtete, dass er zuerst immer den Inhalt von ganzen Paletten eingelagert hat. Das neue Material stand dann für einige Zeit in den oberen Ebenen des Grids und hat die eigentliche Bereitstellung der Bins ausgebremst. Die Vorbereitung der Aufträge hat dann deutlich länger gedauert.

Wie lange darf die Vorbereitung eines Auftrages dauern? Diese Frage sollte auch in der Planung diskutiert werden. Bei größeren Auftragsvorlaufzeiten kann das AutoStore-System die für den Auftrag notwendigen Bins

vorbereiten. Dies bedeutet, dass die Roboter die Bins ausgraben und im oberen Bereich des Grids puffern (siehe hierzu auch Kapitel 3 - Prozess). Wird der Auftrag dann an einem Port kommissioniert, können alle benötigten Bins zügig und zeitlich lückenlos bereitgestellt werden. Wenn die Vorlaufzeit sehr kurz ist, kann es sein, dass die Bins nicht alle vorbereitet werden konnten. Dies kann dazu führen, dass der Mitarbeiter am Port auf den benötigten Bin warten muss.

Die Teilnehmer der Umfrage wurden gebeten, die mittlere Vorlaufzeit bei ihrem AutoStore-System einzuschätzen. Das Ergebnis, als Histogramm dargestellt, zeigt die Abbildung 3-18.

Bei mehr als der Hälfte der Systeme bleiben weniger als 60 Minuten für die Vorbereitung der Aufträge. In einigen Systemen beträgt die Vorlaufzeiten bis zu 480 Minuten und ist damit deutlich höher.

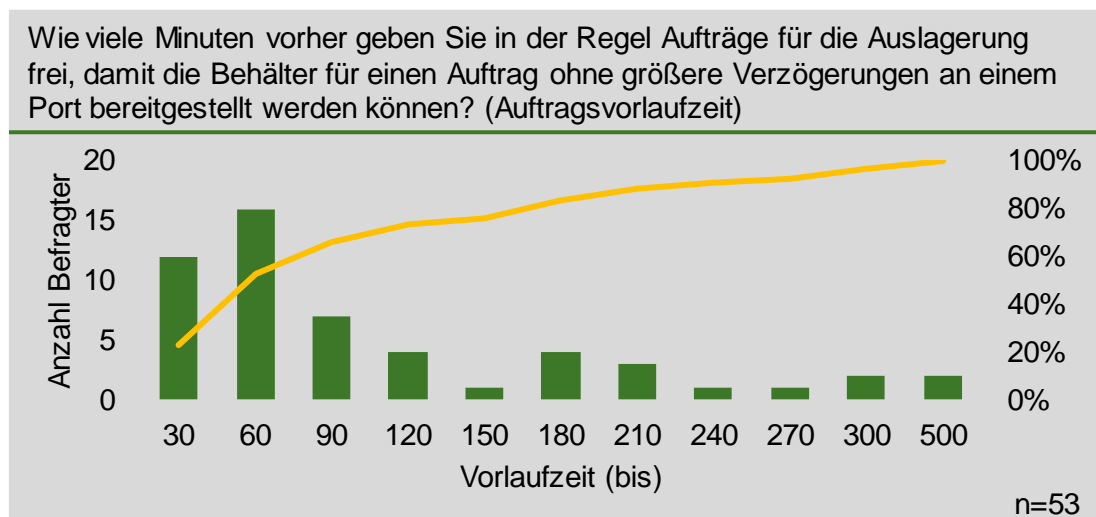


Abbildung 3-18

Kennzahlenvergleich von AutoStore-Systemen

- Die betrachteten Systeme haben sehr unterschiedliche Kennwerte hinsichtlich Gridgröße, Anzahl Roboter und Portanzahl.
- Die meisten Systeme:
 - haben eine Lagerkapazität von 20.000 bis 60.000 Bins
 - setzen zwischen 15 und 55 Robotern ein
 - nutzen 4 bis 16 Ports für die Ein- und Auslagerung
(Werte basieren auf dem unteren und oberen Quartil der untersuchten Systeme)
- AutoStore-Systeme können sehr groß aber auch sehr klein sein
 - 2.500 Stellplätze versus 500.000 Stellplätze
 - 5 Roboter versus 500 Roboter
- Die Auslegung (Dimensionierung) der Systeme hängt stark vom Anwendungsfall ab.
- Bei der Auslagerung sollten auch folgende Aspekte Berücksichtigung finden:
 - Zugriffsstruktur bezogen auf das Sortiment und pro Bin
 - Nachschub- und Lagerstrategie
 - Auftragsvorlaufzeit

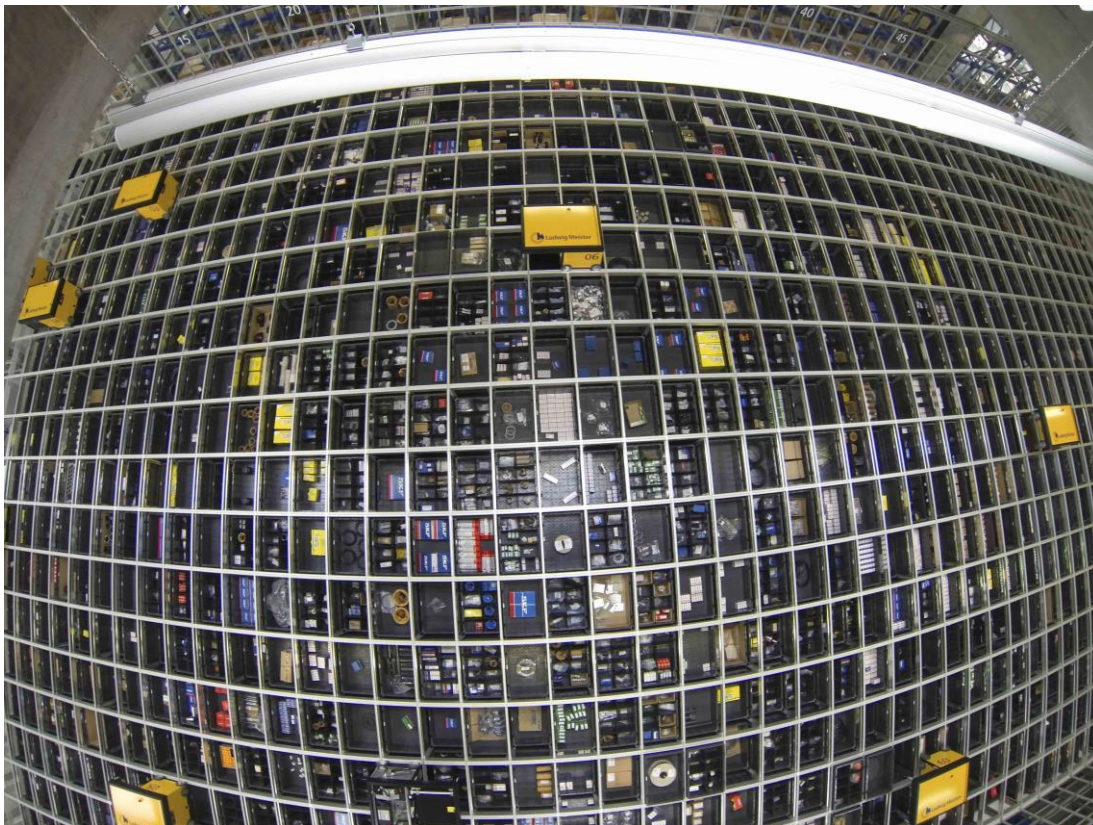


Foto 3-2

4. DIE VOR- UND NACHTEILE AUS NUTZERSICHT

Welche Vorteile bietet ein AutoStore-System und für welche Einsatzfälle ist es besonders gut geeignet? Dies sind die zentralen Fragen des vierten Kapitels.

Was war/ ist ausschlaggebend für die Wahl des AutoStore-Systems? (Vorteile)

Vor allem die sehr hohe Lagerdichte (84 %) wird von den Befragten als wichtiges Kriterium für die Auswahl eines AutoStore-Systems genannt. Weiterhin schätzen die Befragten auch die einfache Erweiterung des Systems, da sich AutoStore einfach skalieren lässt. Die Leistung kann in bestimmten Grenzen durch zusätzliche Roboter erhöht werden. Das Grid kann vergrößert oder ein zweites Grid aufgebaut werden. Weitere Aspekte, die für ein AutoStore-System sprechen, sind ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis (64 %) und die

einfache Integration in bestehende Gebäude (56 %).

Als weitere Vorteile (Sonstiges) wurden von den Befragten die schnelle Lieferzeit, der geringe Geräuschpegel in der Halle und geringe Kommissionierfehler genannt.

Die Abbildung 4-1 fasst die Zustimmung der Befragten zu den vorgegebenen Kriterien zusammen. Dabei waren Mehrfachnennungen möglich.

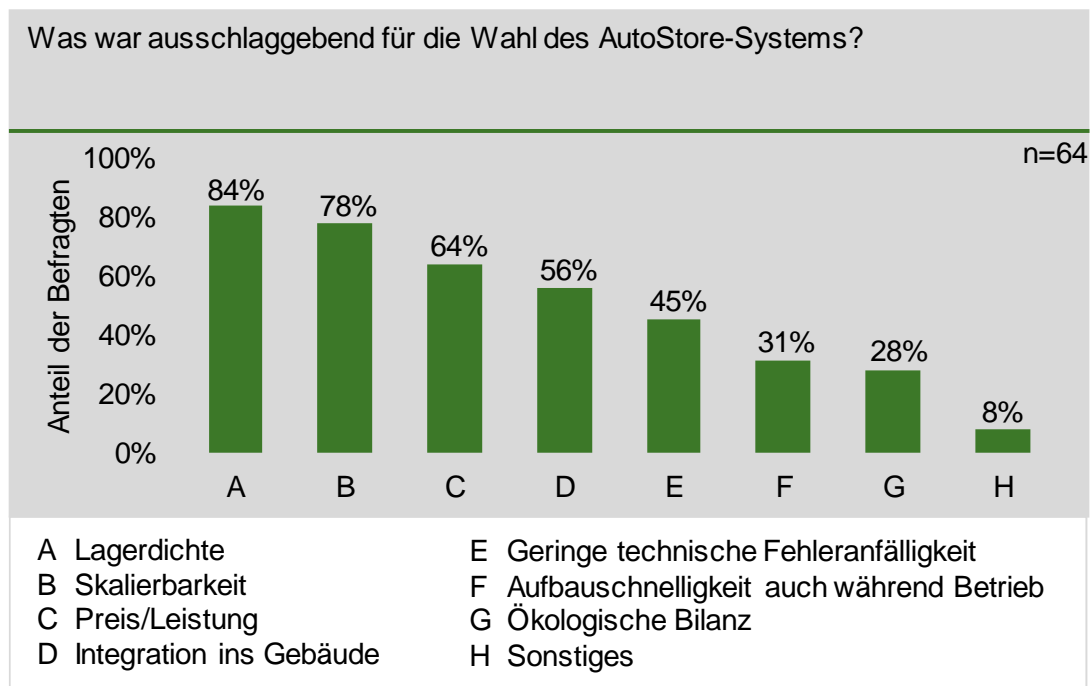


Abbildung 4-1

Bei welchen Anforderungen ist ein AutoStore-System nicht geeignet? (Nachteile)

AutoStore ist ein automatisiertes Lager- und Kommissioniersystem für Kleinteile. Um ein AutoStore-System nutzen zu können, muss das zu handhabende Sortiment sinnvoll in den Bins gelagert werden können. Dafür dürfen die Abmessungen der Materialien nicht größer als (L/B/H) 603 mm x 403 mm x 202 bis 404 mm sein und das Volumen der eingesetzten Bins muss bei Einhaltung des maximalen Bin-Gewichts von 35/30 kg (inkl. Bin) sinnvoll ausgenutzt werden, da sonst der genannte Vorteil der hohen Lagerdichte egalisiert wird. 76 Prozent der Befragten geben an, dass das Gewicht und die Abmessungen (69%) der Artikel Hindernisse für den Einsatz eines AutoStore-Systems sein können. Weiterhin ist die Lagerung von Gefahrgut (39%) in AutoStore-Systemen schwierig, da durch eine „Blocklagerung“ der direkte Zugriff auf einzelne Bins nicht möglich ist.

Ein Teil der Befragten (26%) gab an, dass bei hohen Sequenzanforderungen das System an seine Grenzen kommt. Mit Sequenzanforderungen ist in diesem Kontext gemeint, dass die Bins in einer klar vorgegebenen Reihenfolge an den Ports bereitgestellt werden müssen, weil z.B. die Ablage-Reihenfolge der Artikel in der Sammelinheit (z.B. Versandpaket) beachtet werden muss.

Lagerhallen haben häufig eine lichte Höhe von mehr als 10 Metern. Ein AutoStore-System ist auf eine Höhe von 5,4 m beschränkt (bzw. 6,3m bei 425mm hohen Bins und dem Einsatz der Blackline-Roboter) und kann ohne eine weitere Maßnahme die verfügbare Höhe in vielen Hallen nicht

nutzen. Es besteht natürlich die Möglichkeit, dass eine Bühnenkonstruktion eingezogen wird, was z.B. den Aufbau von zwei AutoStore-Systemen übereinander ermöglicht. Diese Maßnahme schlägt sich dann in den Investitionen nieder. Hohe Hallen können bezogen auf das AutoStore-System noch einen weiteren Nachteil mit sich bringen. Abhängig vom Brandschutzkonzept, muss ggf. eine Stahlkonstruktion über dem AutoStore-System installiert werden, damit die Sprinkleranlage im vorgegebenen Abstand zur obersten Grid-Ebene angebracht werden kann.

Das Brandschutzkonzept ist häufig eine Herausforderung in AutoStore-Projekten. Dies ist meist dadurch begründet, dass Sachverständige oder Brandversicherer noch wenig Erfahrungen mit diesem System haben und sich dadurch bei der Festlegung der Anforderungen an das Brandschutzkonzept schwertun und dadurch die Festlegung der Anforderungen an das Brandschutzkonzept kompliziert ist. Es empfiehlt sich daher, bereits in der Planungs- und Vergabephase das Brandschutzkonzept abzustimmen.

Einige der Befragten (19%) gaben an, dass sich ein AutoStore-System nur schwer in ein bestehendes Materialflusssystem integrieren lässt. Damit ist z.B. gemeint, dass die Behälter über Fördertechnik in einen anderen Bereich transportiert werden. Es gibt wenige Anlagen, bei denen die Bins das AutoStore-System verlassen. Das ist auch eine Anforderung, die nur ungerne in ein AutoStore-System integriert wird. Aus Sicht der Autoren gibt es hierfür zwei Gründe. Die Qualität

der Bins (Beschädigungen) hat wesentlichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Systems. Behälter, die z.B. auch für die Materialbereitstellung in der Produktion genutzt werden, haben ein deutlich höheres Risiko beschädigt zu werden, als Behälter, die nur innerhalb eines AutoStore-Systems eingesetzt werden. Der zweite Grund könnte

in der Projektabwicklung liegen. AutoStore ist ein Produkt, das ein Käufer in bestimmten Grenzen konfigurieren kann. Wenn projektspezifische Anforderungen integriert werden müssen, dann steigt damit der Aufwand für die Planung, Implementierung und die Tests.

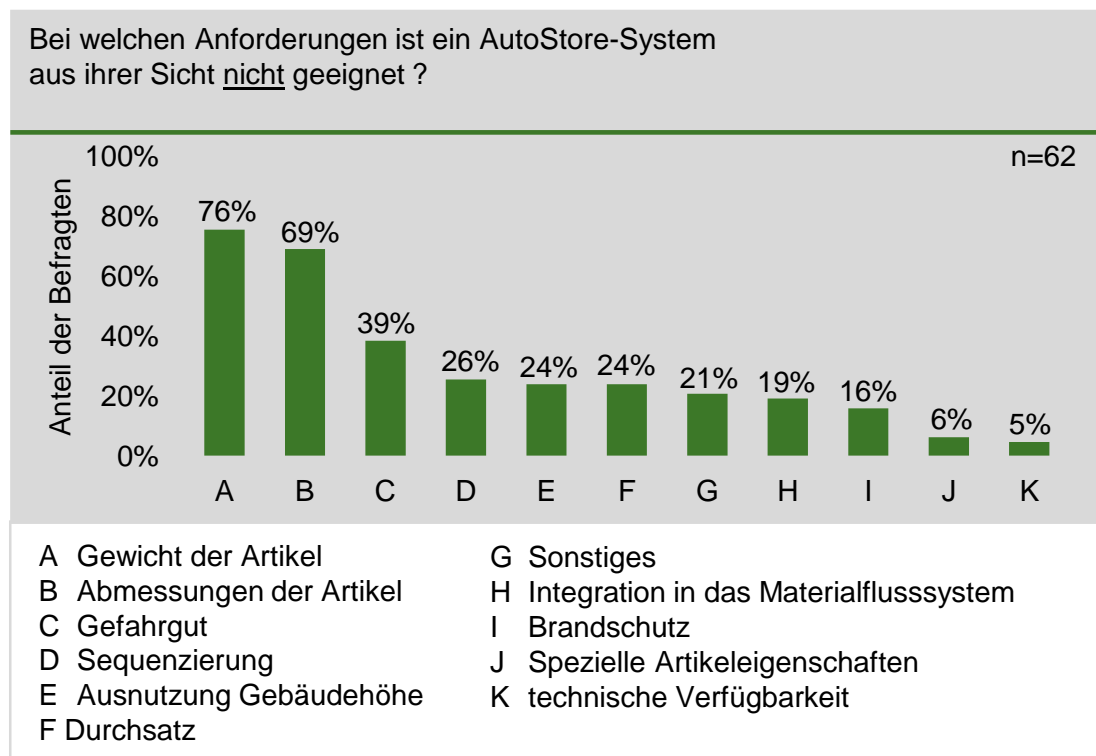


Abbildung 4-2

Unter dem Punkt Sonstiges haben Teilnehmer noch weitere Aspekte aufgeführt, die den Einsatz eines AutoStore-Systems schwieriger machen. Am häufigsten wurde das Thema Zugriffverteilung genannt. Im Kapitel 3 wird ausführlich erläutert, warum eine zu flache ABC-Struktur für das AutoStore-System kritisch ist. AutoStore ist demnach auch kein Lager, in dem nur Schnelldreher gelagert werden können. Weiterhin wurde auf die sichere Lagerung der Waren in den Bins

hingewiesen. Hier gibt es verschiedene Aspekte. Schwere Artikel, die im Bin durch eine fehlende Sicherung verrutschen können (z.B. Wellen), können zu ungünstigen Gewichtsverteilungen führen. Dies kann ein Verklemmen der Bins nach sich ziehen. Auch ist sicherzustellen, dass die max. Füllhöhe der Bins immer eingehalten wird. Kritisch sind Artikel, die sich während des Lagerprozesses ausdehnen können (z.B. einige Bekleidungsartikel) oder auch Umverpackungen. Durch ein richtiges

Befüllen der Bins bei der Einlagerung kann möglichen Störungen entgegen gewirkt werden.

Weiterhin ist laut einiger Nutzer ein AutoStore-System nicht für die Lagerung von frischer Ware (Obst und Gemüse) und temperaturgeführter Ware

geeignet. Grundsätzlich kann das AutoStore-System in einem Temperaturbereich von 2°C bis 35 °C problemlos eingesetzt werden. Laut AutoStore nimmt der Einsatz von AutoStore im Kühlbereich zu. In der Abbildung 4-2 sind die Ergebnisse der Umfrage zusammengefasst.

Vor- und Nachteile eines AutoStore-Systems

- wesentlich für die Wahl eines AutoStore-Systems sind die
 - hohe Lagerdichte
 - einfache Erweiterung (auch im laufenden Betrieb)
 - gute Integrierbarkeit in das Gebäude
- schwierig ist der Einsatz eines AutoStore-Systems, wenn
 - die Artikel zu schwer oder groß sind
 - die Zugriffsverteilung über das Sortiment nicht stimmt
 - die Bins außerhalb des AutoStore-Systems genutzt werden sollen
 - spezielle Anforderungen an die Lagerung bestehen
- Auf folgende Aspekte sollte geachtet werden
 - frühzeitige Abstimmung der Brandschutzanforderungen
 - das richtige Befüllen der Bins bei der Einlagerung

Allgemeine Anmerkungen: Grundsätzlich gilt für jedes Automatisierte Lagersystem, dass Aspekte des Brandschutzes, die Qualität der Ladungsträger oder die Gewichtsverteilung im Ladungsträger beachtet werden muss.



Foto 4-1

5. DIE PLANUNGSPHASE

Im Kapitel fünf soll die Planung eines AutoStore-Systems näher betrachtet werden. Dabei wird die Systemauswahl untersucht und das Vorgehen im Rahmen der Ausschreibung.

Welche Systeme haben Sie zusätzlich in die Entscheidungsfindung mit einbezogen?

Ein wesentlicher Schritt im Rahmen der Planung ist die Auswahl des geeigneten Lager- und Kommissioniersystems. Neben einem AutoStore-System gibt es noch weitere Lagersysteme, die für die Kommissionierung eingesetzt werden können.

Auf die Frage „Welche weiteren Lagersysteme wurden im Rahmen der Planung untersucht?“ gaben 63 Prozent der Befragten an, dass auch ein Automatisches Kleinteilelager

berücksichtigt wurde. Weiterhin wurden auch oft ein manuelles Lager (Person zur Ware) und Shuttle-Systeme untersucht.

Neben den in Abbildung 5-1 aufgeführten Systemen wurden von einigen Befragten noch Automatische Palettenhochregallager, Kommissionierroboter (Toru von Magazino) und Fahrerlose Transportsysteme in Kombination mit mobilen Lagerregalen betrachtet.

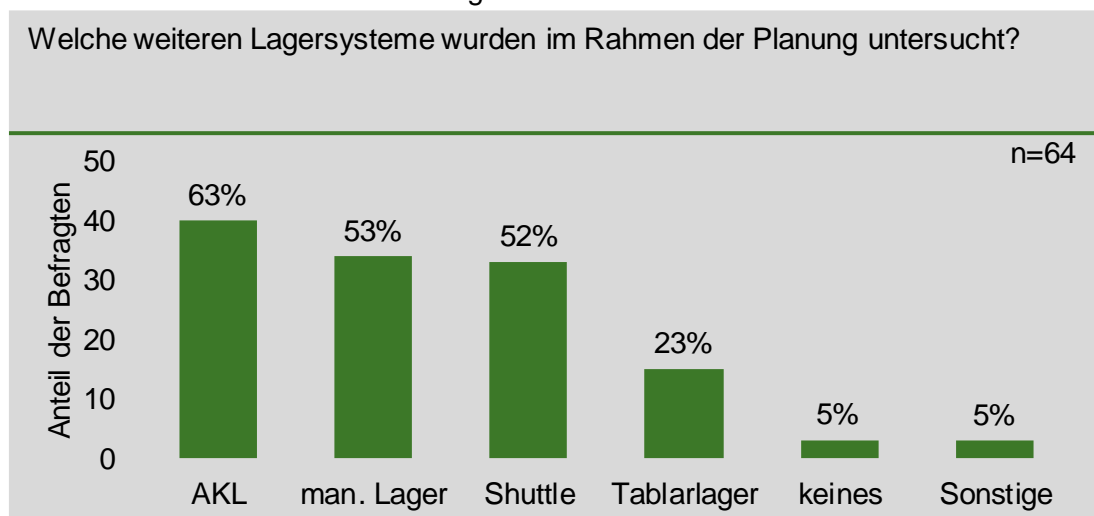


Abbildung 5-1

Obwohl neue Systeme bei weitem noch nicht die Marktdurchdringung wie ein AutoStore-System haben, gibt es einige innovative Systeme, die ebenfalls kleine Roboter nutzen. Am ähnlichsten zum AutoStore-System ist das System von Ocando Technology. Das

System StoroJet und die Shuttles von Exotec verfolgen jedoch nicht mehr die Idee einer Blocklagerung. Interessant für die Kommissionierung könnten auch Systeme wie der „t-sort“ von Tompkins Robotics sein.

Wie haben Sie einen Anbieter von AutoStore gefunden/ ausgewählt?

Das AutoStore-System wird über Distributoren vertrieben. Im deutschsprachigen Raum sind fünf Distributoren aktiv. Das sind die Unternehmen:

- AM-Automation GmbH
- Dematic GmbH
- Element Logic Germany GmbH
- Hörmann Logistik GmbH
- swisslog Germany

Dem potenziellen AutoStore-Kunden stellt sich die Frage, wer der richtige Realisierungspartner ist. Ein Großteil der Umfrageteilnehmer (53%) hat sich auf Fachmessen über die Distributoren informiert. Auch spielen Empfehlungen für viele Befragte eine wichtige Rolle (36%). Die vollständigen Ergebnisse sind in Abbildung 5-2 dargestellt.

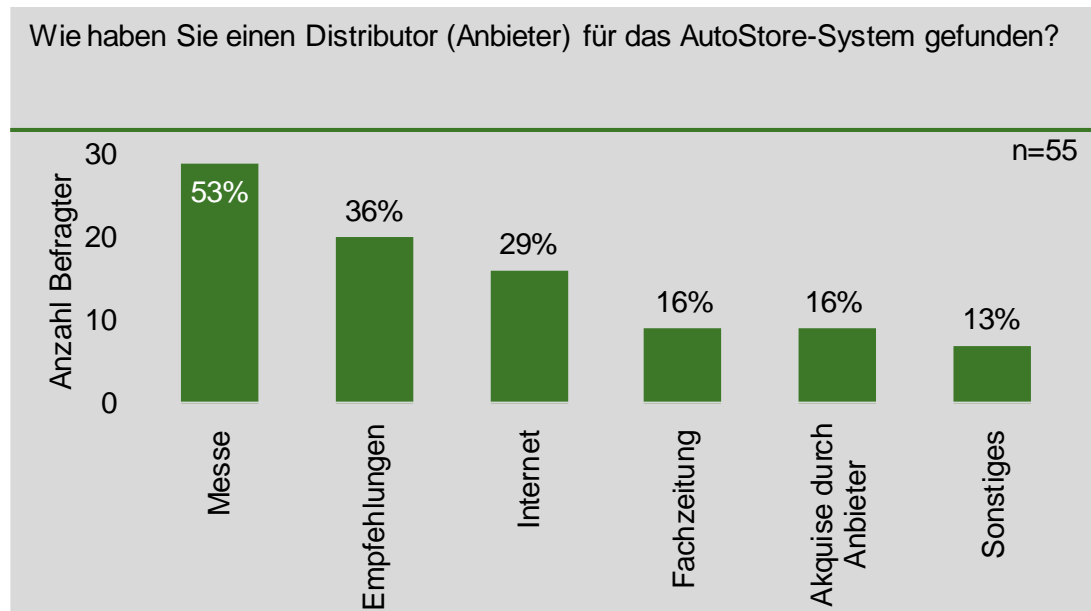


Abbildung 5-2

Auf welcher Grundlage/-n wurde ein Angebot erstellt?

Nach der Auswahl der geeigneten Distributoren muss ein Angebot für das AutoStore-System erstellt werden. In der Regel wird für die Beschaffung größerer automatisierter Materialflusssysteme vom Auftraggeber (dem späteren Nutzer) ein Lastenheft erstellt, in dem das „was“ und „wofür“ beschrieben wird. Auf Grundlage der im Lastenheft beschriebenen Anforderungen plant der Anbieter das System und präsentiert seinen Systemvorschlag in einem Angebot.

Laut der Umfrageergebnisse wurde von nur 59 Prozent der Befragten, ein Lastenheft erstellt. Ungefähr zweidrittel der Befragten haben dem Distributor Auftragsdaten zur Verfügung gestellt, die dann für die Systemauslegung genutzt wurden. Ebenso waren Gespräche mit den Distributoren und eine Planung, die durch externe Berater oder auch durch die Distributoren durchgeführt wurde, für die Angebotserstellung wichtig. Abbildung 5-3 fasst die Ergebnisse zusammen.

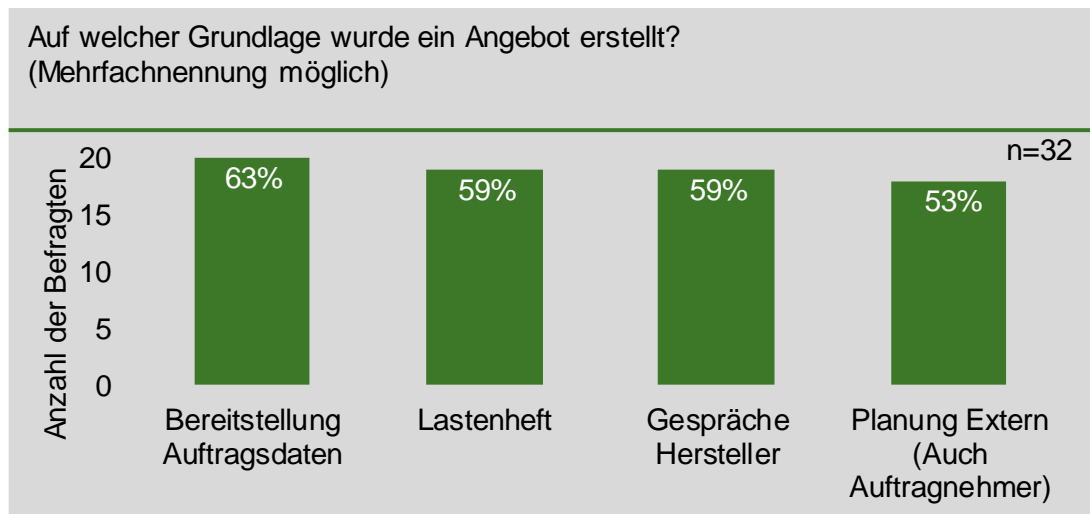


Abbildung 5-3

Die Dimensionierung eines AutoStore-Systems ist eine komplexe Fragestellung, da viele unterschiedliche Aspekte die Leistungsfähigkeit der gesamten Anlage beeinflussen. Anders als für die Spielzeitberechnung von Regalbediengeräten, gibt es für ein AutoStore-System keine öffentlich publizierten Methoden zur Spielzeitbestimmung.

Im Folgenden sind wichtige Einflussfaktoren auf die Leistung aufgeführt:

- Gridgröße und Form
- Anzahl und Position der Ports
- ABC-Struktur des Sortiments (inkl. Bevorratungsstrategie)
- Auftragsstruktur (z.B. Positionen pro Auftrag) und Anforderung an die Bereitstellungssequenz
- Kommissionierstrategie (Single-Order-Picking und Multi-Order-Picking)
- Steuerungsstrategien AutoStore

AutoStore bietet eine Simulation, mit deren Hilfe die Leistungsfähigkeit eines geplanten Systems überprüft werden kann. Als Eingangsinformation für diese Simulation werden Auftragsdaten genutzt. Im Rahmen der Simulation wird z.B. die mittlere Grabetiefe untersucht.

Wichtig an der Stelle ist eine vorausschauende Betrachtungsweise und die damit verbundene Frage, welche Anforderungen in Zukunft an das AutoStore-System gestellt werden? Es muss bewertet werden, inwieweit die aktuellen Aufträge diese zukünftigen Anforderungen repräsentieren. Die benötigten Anforderungen und deren Auswirkungen auf die Auftragsstruktur sollten intensiv mit den Distributoren diskutiert werden.

Ein Ergebnis aus den beschriebenen Simulationen ist ein Auftragsprogramm, welches für einen späteren Leistungstest herangezogen wird. Dies ist aus Sicht der Autoren kritisch zu hinterfragen, da der eigentliche Nutzer hier nur wenig Einblick in die Art- und Weise der

Ermittlung dieses Auftragsprogramms bekommt und das Risiko einer

unzulänglichen Planung zum Großteil vom späteren Nutzer getragen wird.

Hatten Sie Unterstützung von externen Beratern und in welchen Phasen?

Für viele der Befragten war das AutoStore-System die erste Erfahrung mit einem automatisierten Materialflusssystem. So antwortete auf die Frage, ob bereits andere automatisierte Materialflusssysteme im Einsatz sind, nur ein Umfrageteilnehmer aus der Gruppe der AutoStore-Nutzer mit „Ja“.

Trotz der fehlenden Erfahrungen im Bereich automatisierter Materialflusssysteme hatten nur 50 Prozent der

Nutzer Unterstützung durch externe Fachberater im AutoStore-Projekt.

Bei 36 Prozent der Projekte wurden die Unternehmen im gesamten Projekt durch den externen Berater begleitet. In Abbildung 5-4 wird aufgezeigt, in welcher Planungsphase die Unternehmen externe Unterstützung hatten. Die Prozentzahl bezieht sich nur auf den Anteil der Befragten, die zumindest in einer Phase Unterstützung hatten.

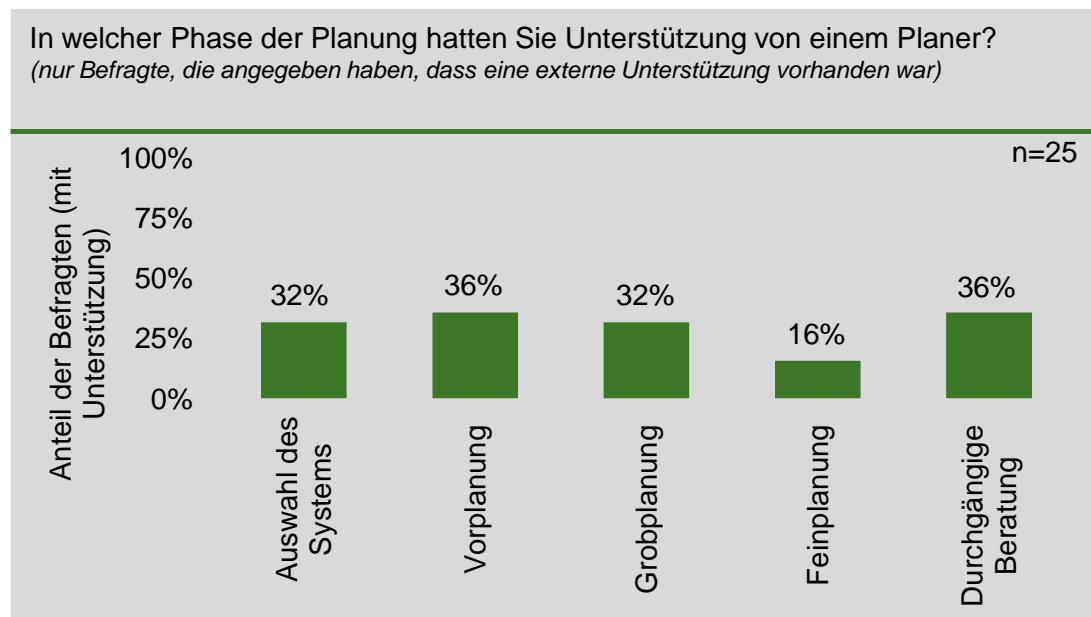


Abbildung 5-4

Gute Projekte zeichnen sich durch eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber (Nutzer) und Auftragnehmer (Distributor) aus. Aus Sicht der Autoren sollte trotzdem nicht auf eine fundierte Ausschreibung verzichtet werden, welche die Anforderungen des Nutzers

unabhängig von einer Auslegung durch einen Distributor definiert. Weiterhin sollten in der Ausschreibung (und im Vertrag) die grundsätzlichen Regeln für die spätere Abnahme des Systems und den zugrunde gelegten Richtlinien festgelegt werden.

Planung eines AutoStore-Systems

- Das AutoStore-System muss sich in der Planung gegenüber ein Automatisches Kleinteilelager mit Regalbediengeräten oder Shuttle-Fahrzeugen beweisen. Häufig wird auch ein manuelles Lager in die Überlegungen mit einbezogen.
- Die meisten AutoStore-Nutzer bzw. die zukünftigen Nutzer informieren sich auf Fachmessen über das System und die Distributoren
- Klassische Ausschreibungsunterlagen (Lastenhefte) gibt es nicht für jedes Projekt. Verbreitet ist eine Planung durch die Distributoren auf der Grundlage von Auftragsdaten, die vom zukünftigen Nutzer zur Verfügung gestellt werden.
- AutoStore ist für viele der Einstieg in die automatisierte Lagertechnik. Trotzdem wird nur die Hälfte der zukünftigen Nutzer durch externe Fachplaner unterstützt.

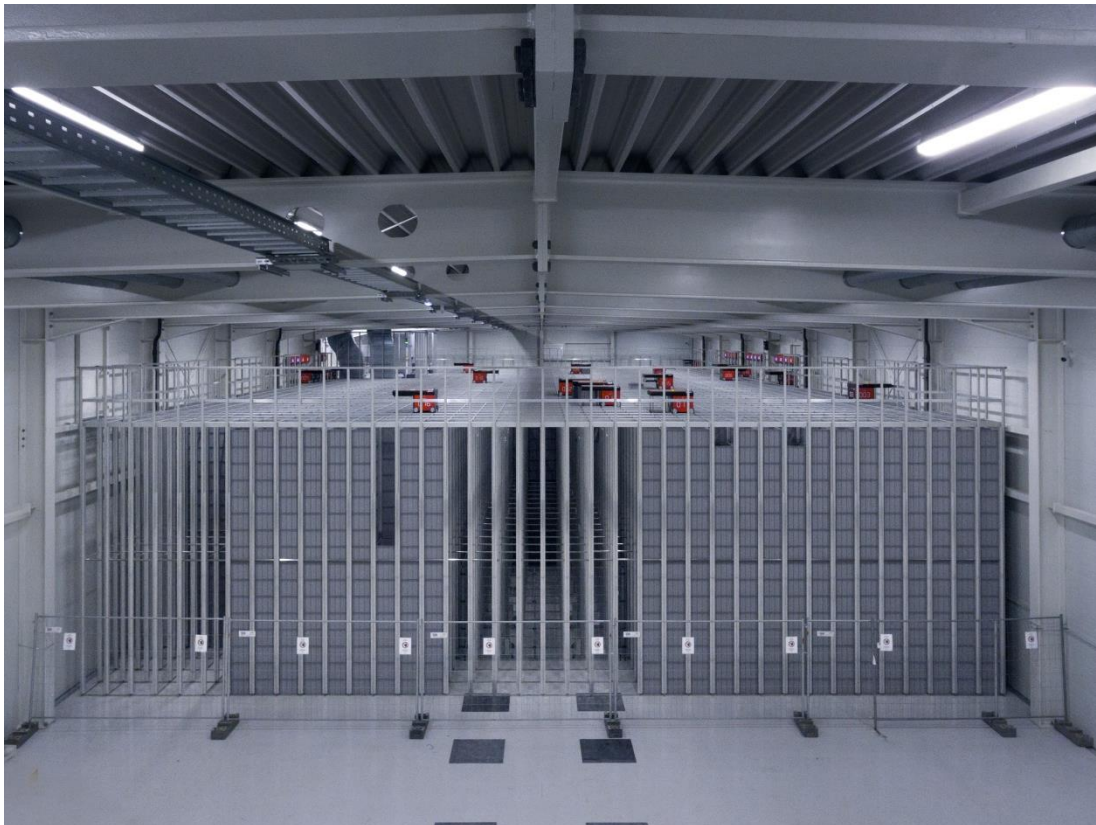


Foto 5-1

6. DIE REALISIERUNGS- UND BETRIEBSPHASE

Das folgende Kapitel konzentriert sich auf die Realisierungs- und Betriebsphase des AutoStore-Systems. Zu Beginn des Kapitels soll die Realisierungs- und Montage-dauer betrachtet werden. Im Anschluss werden Komplikationen bei der Realisierung und typische Fehler in der Betriebsphase beleuchtet.

Wie lange dauerte die Realisierung des AutoStore-Systems?

Der Realisierungszeitraum für AutoStore-Systeme ist unterschiedlich lang. Neben der Größe des Systems spielt auch der konkrete Lieferumfang eine Rolle, z.B. ob ein neues Lagerverwaltungssystem eingeführt wird. Weiterhin können auch andere Gewerke, wie z.B. der Bau, die Realisierungsdauer beeinflussen.

73 Prozent der Befragten gaben an, dass zwischen Vergabe an einen Distributor und der Inbetriebnahme weniger als 12 Monate lagen.

Abbildung 6-1 fasst die Umfrageergebnisse als Histogramm zusammen.

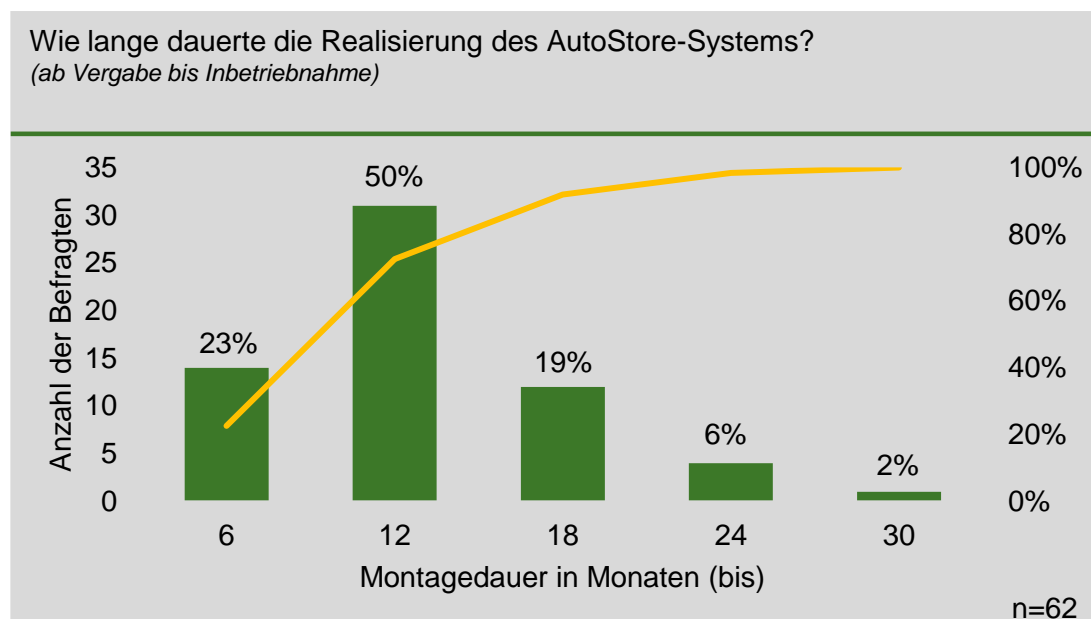


Abbildung 6-1

Wie lange dauerte die Montage des AutoStore-Systems?

Der Zeitraum für die Montage ist grundsätzlich von der Systemgröße und der Anzahl eingesetzter Montaget Teams abhängig. Das Ergebnis der Umfrage (siehe Abbildung 6-2) zeigt,

dass bei 82 Prozent der Befragten die Montage nicht länger als 3 Monate dauerte. Bei kleineren Systemen ist die Montage auch innerhalb eines Monats umsetzbar.

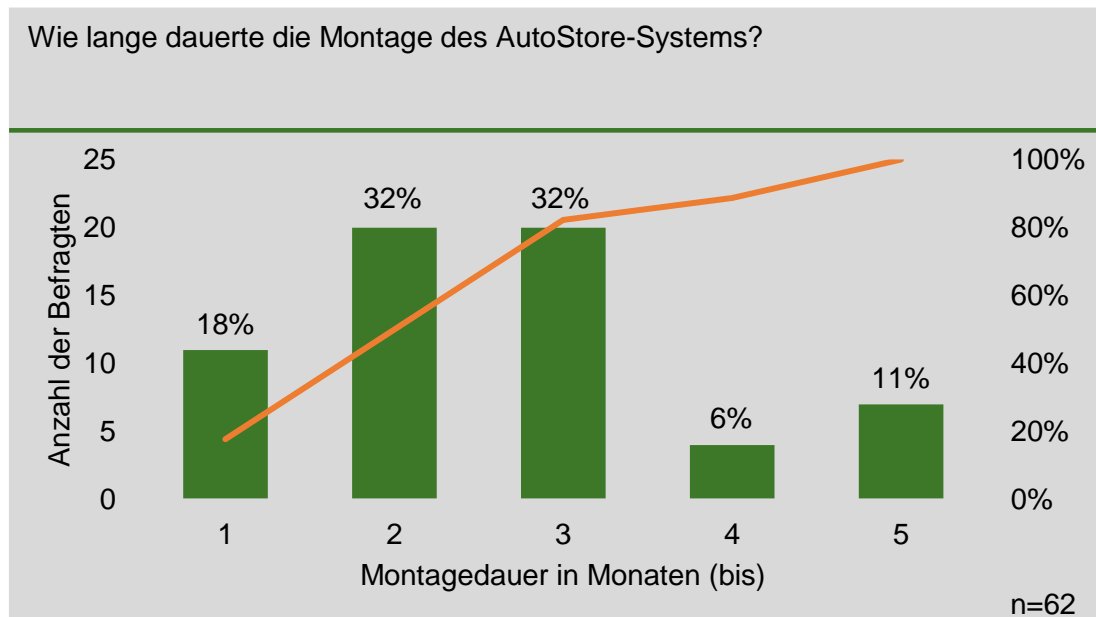


Abbildung 6-2

Gab es Komplikationen während der Projektierung?

Um aus den Erfahrungen aus umgesetzten Projekten zu lernen, wurden die Teilnehmer der Studie hinsichtlich der Komplikationen in Ihrem Projekt befragt.

Die häufigsten Probleme (45%) entstehen im Zusammenhang mit dem Bau. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Ebenheit des Bodens, damit das AutoStore-System verspannungsfrei aufgestellt werden kann.

Bei 28 Prozent der Befragten kam es zu Komplikationen im Bereich Brandschutz, z.B. durch Anforderungen, die zusätzlich umgesetzt werden mussten.

Einige Befragte äußerten sich überrascht über den Flächenbedarf für die angelieferten Komponenten. Dabei ging es in den meisten Fällen um die leeren Bins. Je nach Systemgröße und vereinbartem Anlieferverfahren werden mehrere LKW-Ladungen mit leeren Bins angeliefert, die bis zur Systembefüllung gelagert werden müssen. Auch der Zeitbedarf für die initiale Befüllung des Grids mit leeren Behältern wurde, laut Aussagen in den Interviews von einigen Befragten, unterschätzt. Jeder Bin muss vor der Einlagerung mit zwei Barcode-Etiketten versehen und die Abmessungen (Toleranzen) überprüft werden. Dafür benötigte

Ressourcen und der Zeitbedarf sollten im Projektplan berücksichtigt werden.

Unter dem Punkt Sonstiges äußerten einige Befragte Komplikationen im Bereich IT, z.B. bei der Kommunikation zwischen einem überlagerten ERP-System und dem Lagerverwaltungssystem (Lieferumfang vom Distributor,

nicht von AutoStore) oder Problemen hinsichtlich der Auftragsfreigabe.

Die folgende Abbildung 6-3 fasst die Umfrageergebnisse hinsichtlich der Komplikationen in der Realisierung und Inbetriebnahme zusammen.

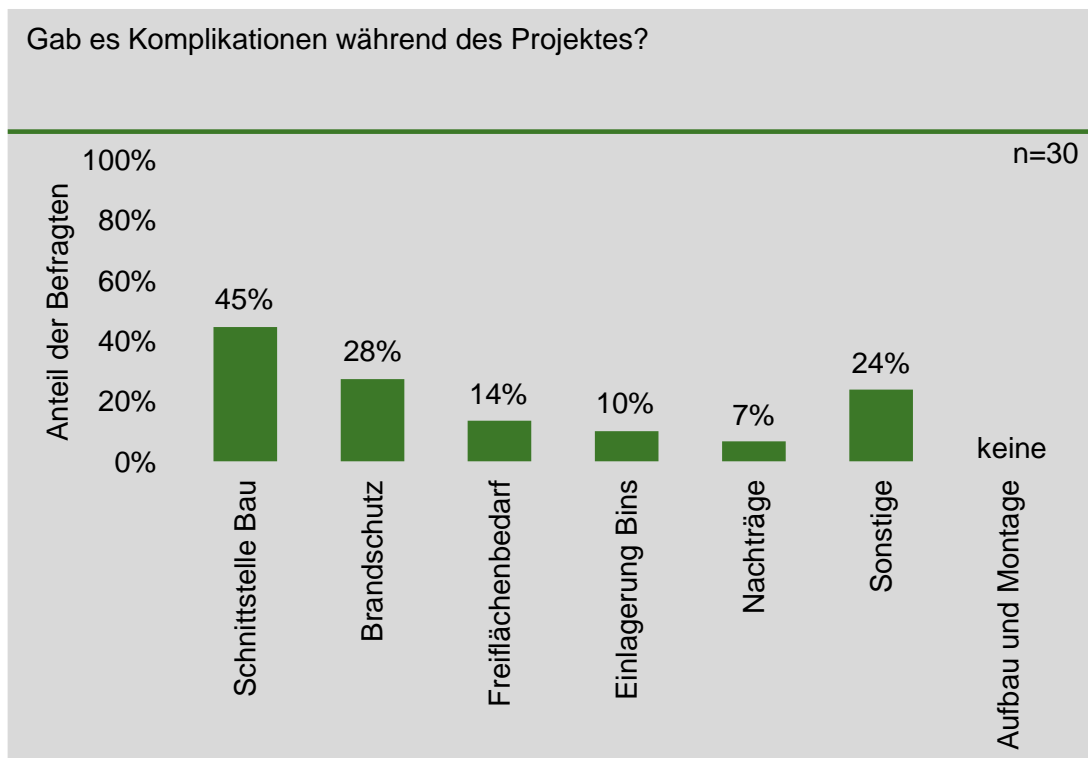


Abbildung 6-3

Welche Fehler treten in ihrem System am häufigsten auf?

Eine hohe Verfügbarkeit ist eine zentrale Anforderung an automatische Materialflusssysteme. AutoStore beziffert die durchschnittliche Betriebszeit eines AutoStore-Systems mit 99,6 Prozent. [Int-20] Eine solche Angabe ist schwer zu interpretieren, da sich daraus weder eine Aussage zur Zuverlässigkeit noch zur technischen Verfügbarkeit ableiten lässt.

Im Rahmen der Umfrage sollten die Nutzer angeben, welche Fehler häufig

im System auftreten. 39 Prozent der Befragten gaben an, dass es keine nennenswerten Fehlfunktionen in ihrem System gibt. Häufig werden die Fehler vom Bediener verursacht, so führen auch 39 Prozent der Befragten dies als einen Fehlergrund an.

Mit deutlich weniger Nennungen werden Aspekte wie Verschleiß, Verunreinigungen (Mechanik) oder Fehler durch eine gestörte Kommunikation

zwischen Controller und Roboter bewertet.

Da eine vergleichende Untersuchung für andere Lagersysteme nicht vorliegt, fällt eine Einordnung schwer.

In den Interviews ist jedoch ersichtlich geworden, dass die AutoStore-Nutzer sehr zufrieden mit der Zuverlässigkeit des Systems sind.

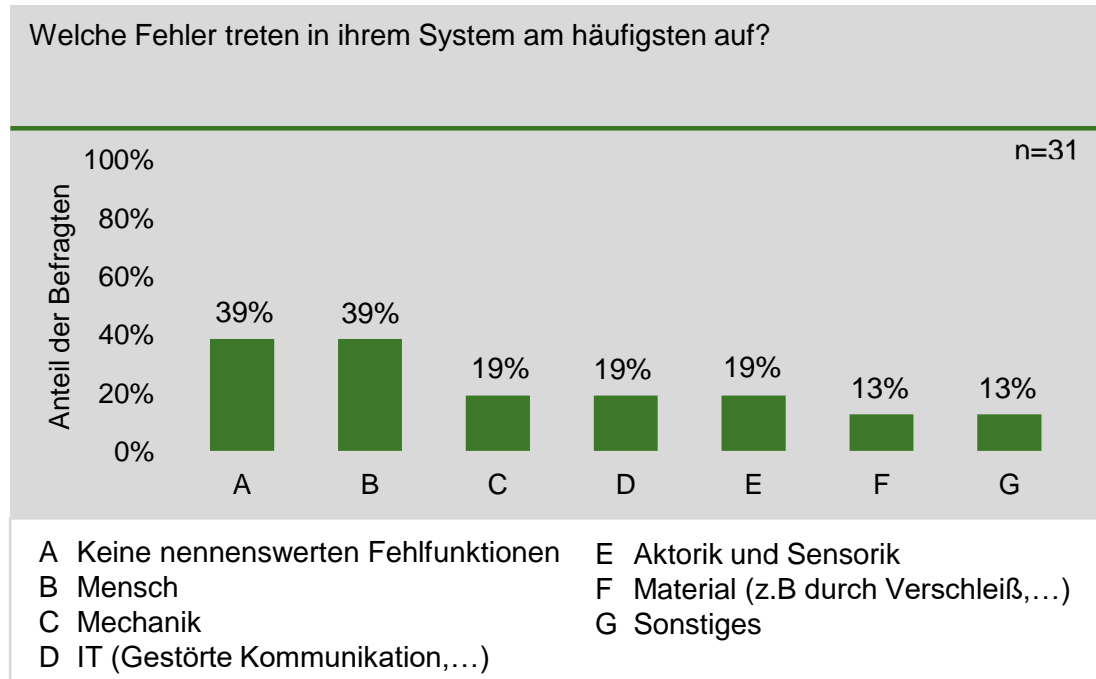


Abbildung 6-4

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Schienen, in denen die Roboter fahren, regelmäßig gereinigt werden müssen. Auch einige Sensoren, die für die Positionsüberwachung eingesetzt werden, sollten regelmäßig gereinigt werden. Ein AutoStore-Nutzer bietet für diese Aufgabe inzwischen eine eigens entwickelte Reinigungsstation an (siehe Foto 6-1).

In Gesprächen mit den Distributoren zum Thema Verfügbarkeit wird immer der Aspekt der Redundanz angeführt. Fällt ein Roboter aus, übernehmen andere Roboter die jeweiligen Aufgaben.

Dies ist sicherlich ein Vorteil des Systems.

Kommt es zu einer Störung am Roboter, kann dieser auf einen Wartungsplatz gefahren werden. In der Regel ist dies über eine Handsteuerung möglich. Wenn dies nicht funktioniert, muss eine Person zum Roboter. Das Grid darf nicht direkt von Personen betreten werden, es gibt aber entsprechende Hilfsmittel für die Fortbewegung. Für diesen Zeitraum müssen die Roboter natürlich ausgeschaltet werden, so dass trotz der Redundanz in dieser Zeit keine Ein- und Auslagerungen möglich sind

Realisierung und Inbetriebnahme eines AutoStore-Systems

- Zwischen Vergabe und Inbetriebnahme vergehen bei einem AutoStore-System in der Regel nicht mehr als 12 Monate.
- Die Montage eines AutoStore-Systems ist in den meisten Fällen spätestens nach 3 Monaten abgeschlossen.
- Die meisten Probleme in der Realisierungsphase entstehen im Zusammenhang mit dem Bau. Hier ist vor allem das Thema Bodenbelastung und Ebenheit des Bodens frühzeitig zu klären und auf der Baustelle zu prüfen.
- Viele Nutzer geben an, dass es zu keinen nennenswerten Fehlern beim Betrieb des AutoStore-Systems kommt. Häufig werden Fehler auch durch den Bediener (Mensch) verursacht. Daraus lässt sich die Notwendigkeit einer umfassenden Schulung für die Mitarbeiter ableiten.

Allgemeiner Hinweis: Viele der angesprochenen Probleme stellen Herausforderungen für jedes automatisierte Lagersystem dar und sind kein spezifisches AutoStore-Problem. Vor allem sollen potenzielle AutoStore-Nutzer ohne Automatisierungserfahrungen auf die Herausforderungen aufmerksam gemacht werden. Lagersysteme wie Automatische Kleinteilelager mit Regalbediengeräten oder Shuttelfahrzeugen sind durch das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Fördertechnikkomponenten meist herausfordernder in der Realisierung. Hier wirkt sich der hohe Standardisierungsgrad in den AutoStore-Systemen positiv aus.



Foto 6-1

7. INFORMATIONSVERARBEITUNG UND LAGERVERWALTUNG

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Informationsverarbeitung und der Anbindung eines AutoStore-Systems. Dabei wird zuerst die Systemarchitektur betrachtet und hierbei insbesondere die Weitergabe von Aufträgen an den AutoStore-Controller. Im Weiteren wird untersucht, ob im Zuge der AutoStore-Einführung ein neues Lagerverwaltungssystem implementiert wurde und wer an dieser Aufgabe beteiligt war.

Aus welchem System werden die Aufträge an den Materialflussrechner des AutoStore (Controller) übergeben?

Der AutoStore-Controller verwaltet die Bins im AutoStore-System. Dabei kennt der Controller die aktuelle Position eines Bins im Grid und deren Identifikationsnummer. Informationen zum Inhalt der Bins können nicht im AutoStore-Controller gespeichert werden. Dies bedeutet, dass ein überlagertes System die eigentliche Bestandsverwaltung übernimmt. Dabei muss das überlagerte System wissen, welche Artikel in welchen Mengen in einem Bin vorrätig sind. Dieses überlagerte Verwaltungssystem muss auch die Materialfindung durchführen, was bedeutet, für einen Auftrag die richtigen Bins auszuwählen und dabei entsprechende Vorgaben wie ein Wareneingangs-First-In-First-Out zu berücksichtigen. Diese Aufgaben können von Lagerverwaltungssystemen oder ERP-Systemen durchgeführt werden.

In der Umfrage haben die meisten Teilnehmer (78%) angegeben, dass für die beschriebenen Aufgaben ein Lagerverwaltungssystem (LVS) eingesetzt

wird. In der Regel erhält das LVS die Aufträge wiederum aus einem ERP-System. 28 Prozent der Befragten sagten, dass die Aufträge direkt aus einem ERP-System an den AutoStore-Controller übergeben werden. Abbildung 7-1 fasst die Ergebnisse für die Frage „Aus welchem System werden Aufträge an den AutoStore-Controller übermittelt?“ zusammen.

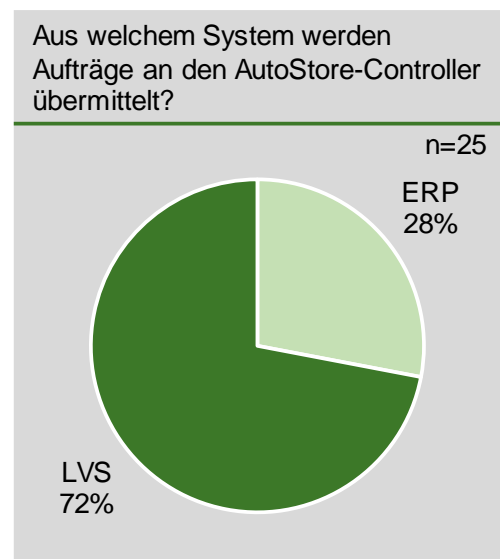


Abbildung 7-1

Wurde im Rahmen von AutoStore ein neues LVS eingeführt?

Durch die Nutzung eines AutoStore-Systems verändern sich Prozesse und die Anforderungen an ein bestehendes Lagerverwaltungssystem, soweit dieses vorhanden ist. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass parallel zur Einführung eines AutoStore-Systems auch ein neues Lagerverwaltungssystem implementiert wird. 55 Prozent der Befragten gaben an, dass im Zuge der Einführung eines AutoStore-Systems auch ein neues Lagerverwaltungssystem installiert wurde. In Abbildung 7-2 sind die Ergebnisse dieser Frage zusammengefasst.

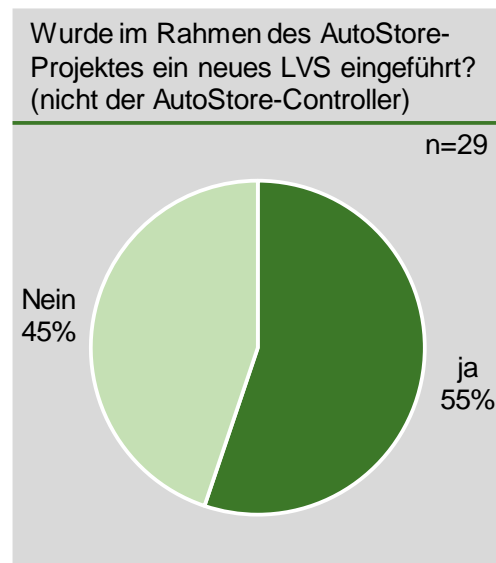


Abbildung 7-2

Unterstützung bei der IT-Realisierung?

AutoStore selber liefert kein Lagerverwaltungssystem. Allerdings bieten die meisten Distributionspartner ein Lagerverwaltungssystem an. Es kann aber auch ein anderes am Markt erhältliches Lagerverwaltungssystem eingesetzt werden. Die Schnittstelle zwischen dem LVS und dem AutoStore-Controller ist einfach gestaltet, so dass die Anbindung keine große Herausforderung darstellt. Allerdings sollte das Thema Auftragsmanagement nicht unterschätzt werden. Damit ist gemeint, wann und wie die Aufträge an das AutoStore-System übermittelt werden.

Um die Lernkurve klein zu halten, empfiehlt es sich auf Referenzen des IT-Partners zu achten. Neben den Distributoren haben auch einige IT-Systemhäuser bereits umfangreiche Erfahrungen mit AutoStore gesammelt.

In Abbildung 7-3 wird dargestellt, wer an der Einführung eines neuen Lagerverwaltungssystems beteiligt war. In 42 Prozent der Fälle hat der Distributionspartner bei der Implementierung eines neuen Lagerverwaltungssystems unterstützend mitgewirkt. Viele Unternehmen (31%) haben das neue Lagerverwaltungssystem aber auch unabhängig vom Distributionspartner in eigener Regie realisiert. Dies kann bedeuten, dass eine unternehmenseigene Software weiterentwickelt wurde oder dass ein Lagerverwaltungssystem am Markt beschafft und in eigener Regie mit dem LVS-Lieferanten eingeführt wurde. Andere Nutzer haben stärker auf die Expertise von IT-Unternehmen gesetzt oder interne Kompetenzteams genutzt.

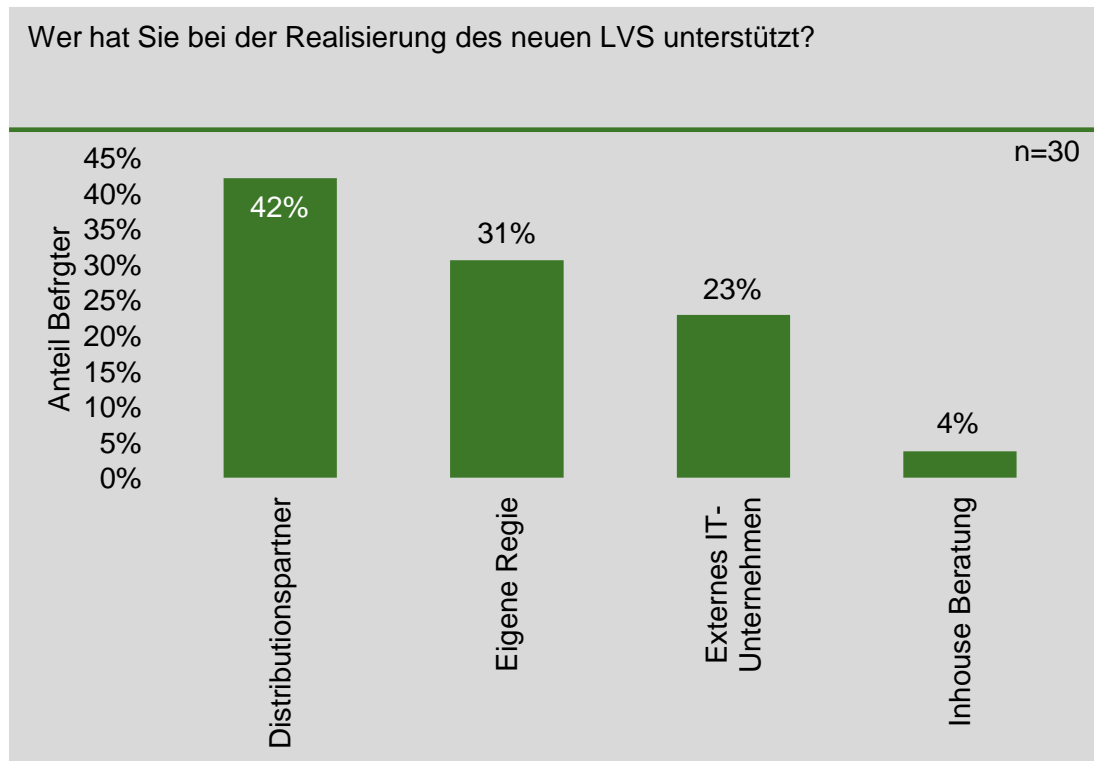


Abbildung 7-3

Dauer der Umsetzung für ein neues Lagerverwaltungssystem

Für die Inbetriebnahme eines Auto-Store-Systems muss nicht nur die Montage abgeschlossen, sondern auch das Lagerverwaltungssystem einsatzfähig sein. Die zeitlichen Aufwände sind von verschiedenen Aspekten abhängig. Beispielhaft sind hierfür die Anforderungen an die Prozesse, die Dialoge und die Kontrollfunktionen genannt. Aber auch die verfügbaren Ressourcen auf der Seite des LVS-Lieferanten können den Umsetzungszeitraum beeinflussen.

In der Umfrage gaben viele Teilnehmer (26 %) an, dass die Umsetzung des neuen LVS nicht länger als zwei Monate gedauert hat. 21 Prozent der Befragten bezifferten den Umsetzungszeitraum mit ca. 6 Monaten. Die

vollständigen Ergebnisse sind in Abbildung 7-4 dargestellt.

In den Interviews wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass der Testzeitraum für das neue IT-System im Zusammenspiel mit dem AutoStore-System ausreichend lang sein soll und dass der reale Betrieb erst aufgenommen werden sollte, wenn keine größeren Fehler mehr auftreten. AutoStore bietet den Integratoren ein Development Kit an. Diese Software erlaubt eine Simulation und Emulation des Systems. Damit können die Schnittstellen zu überlagerten Systemen frühzeitig getestet und Steuerungsalgorithmen ausprobiert werden, was den Inbetriebnahmezeitraum verkürzen kann.

Wie lange hat die Umsetzung des neuen LVS gedauert?

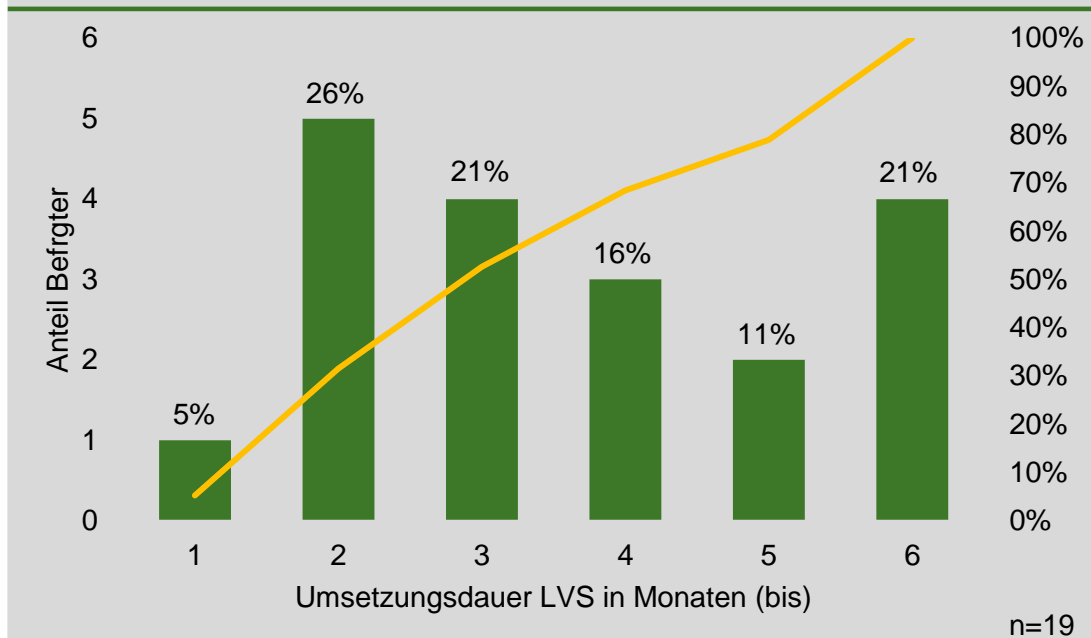


Abbildung 7-4

INFORMATIONSVERRARBEITUNG UND LAGERVERWALTUNG

- Zusätzlich zum AutoStore-Controller muss ein weiteres Informationssystem die Lagerverwaltung übernehmen. Dies kann ein Lagerverwaltungs- oder ERP-System sein.
- In vielen AutoStore-Projekten wird auch ein neues Lagerverwaltungssystem eingeführt. Häufig unterstützt dies der Distributionspartner, es können aber auch andere am Markt angebotene Lagerverwaltungssysteme eingeführt werden.
- In Abhängigkeit von den projektspezifischen Anforderungen dauert die Einführung eines Lagerverwaltungssystems zwischen zwei und sechs Monaten.
- Das Zusammenspiel zwischen AutoStore-System und Lagerverwaltungssystem/ERP-System sollte vor der Aufnahme des realen Betriebes ausführlich getestet werden. Die dafür notwendige Zeit ist im Projektplan vorzusehen.

8. LESSONS LEARNED

Eine Zielsetzung für die Umfrage war das Erfassen von Hinweisen und Tipps von AutoStore-Nutzern für AutoStore-Nutzer bzw. für jene, die es werden wollen. In diesem Abschnitt werden die Hinweise zusammengefasst. Einige der nachfolgend aufgeführten Punkte wurden bereits in dem vorangestellten Kapitel diskutiert.

Hinweise zur Planungsphase

Nicht für alle **Sortiments- und Zugriffsstrukturen** ist AutoStore geeignet. Es ist sinnvoll, die Anforderungen frühzeitig zu überprüfen. Es ist dabei zu kontrollieren, welcher Anteil des Sortiments kann und soll in einem AutoStore-System gelagert werden (Gewicht und Größe).

Ist das Sortiment für das AutoStore-System eingegrenzt, ist die Zugriffsstruktur für dieses Teilsortiment zu bestimmen. Sind die Zugriffe je Artikel sehr gleichmäßig verteilt, sollten Lagerkonzepte mit einer Zeilenlagerung (Regal) geprüft werden. Folgt die Zugriffsverteilung einer klassischen Pareto-Verteilung, dann kann das AutoStore ein vielversprechendes Lager-System sein.

Die **Dimensionierung** eines AutoStore-Systems ist schwierig, da die Leistungsfähigkeit von vielen Aspekten beeinflusst wird. Es ist empfehlenswert, die von AutoStore bereitgestellten Software-Tools für die Auslegung zu nutzen. Der Nutzer des AutoStore-Systems sollte darauf achten, dass die Auslegung die zukünftigen Anforderungen an das System berücksichtigt. Die vom Distributor festgelegten Kennwerte für die Auslegung sollten transparent dokumentiert und für die spätere Abnahme herangezogen werden. Dabei sollte sich nicht nur auf eine

Verteilung der „Grabtiefe“ konzentriert werden. Vielmehr sollten auch konkrete Zugriffsverteilungen und Auftragsstrukturen festgelegt werden, da diese vom Nutzer besser zu interpretieren sind.

Die Planung sollte sich nicht nur auf das AutoStore-System selber konzentrieren. Eine **ganzheitliche Betrachtung** der Abläufe ist empfehlenswert. Dies umfasst die Lagerung von Nachschubeinheiten, den Wareneingangsprozess, den Entnahmeprozess an den Ports und ggf. die nachgelagerten Verpackungs- und Versandprozesse. Sollten nur Teilaufträge im AutoStore-System kommissioniert werden, dann sollte die Auftragskonsolidierung intensiv diskutiert werden.

Bereits bei der Planung sollten die Möglichkeiten einer späteren **Erweiterung** genau betrachtet werden. Entsprechende Vorkehrungen, z.B. für zusätzliche Ports, sollten bereits vorgesehen werden.

Die Anforderungen an den **Brand-schutz** sollten frühzeitig mit den relevanten Ansprechpartnern abgestimmt werden, um spätere Komplikationen in der Realisierungsphase zu vermeiden.

Die Anforderungen an den **Hallenboden** (Ebenheit und Traglast) sollten

rechtzeitig mit dem Distributionspartner festgelegt werden. Ggf. kann der Distributionspartner bei der Erstellung der Anforderungsbeschreibung für den Bau mitwirken. Die Einhaltung der Vorgaben sollte frühzeitig auf der Baustelle überprüft werden.

Unabhängig von der Einführung eines neuen Lagerverwaltungssystems sind die neuen **Funktionen** für das überlagerte IT-System genau zu **beschreiben und abzustimmen**. Dabei sollten auch die **Schnittstellen** zwischen allen beteiligten Systemen genau festgelegt werden. Wenn möglich, sollte der Standard von AutoStore genutzt werden. Dies ermöglicht, die Potenziale

der internen Optimierung der Auftragsbearbeitung im AutoStore-Controller zu nutzen.

Auch wenn viele Aufgaben vom Distributor oder externen Beratern übernommen werden können, sind **eigene Personalressourcen** für einen reibungslosen Ablauf des Projektes wichtig.

Im Zuge des Vergabeprozesses sollte eine **Verantwortlichkeitsmatrix** erstellt werden, die die Aufgaben und Pflichten der beteiligten Akteure festlegt.

Hinweise zur Realisierung und Inbetriebnahme

Ein gutes **Zeit- und Projektmanagement** (inkl. Abstimmung der Gewerke) ist die Voraussetzung für ein gutes Projekt. Hierfür sollten über das gesamte Projekt entsprechend geeignete Ressourcen eingeplant werden.

Auch wenn sich das AutoStore-System durch seine Kompaktheit auszeichnet, ist der **Flächenbedarf** im Zuge der Montage und Inbetriebnahme nicht zu unterschätzen. Es empfiehlt sich bereits im Vergabeprozess, die Anforderungen (Fläche und Art) mit dem Distributor abzustimmen.

Für die Montage eines AutoStore-Systems sind keine schweren Geräte/Maschinen notwendig. Trotzdem sollte das Thema **Lärm- und Schmutzschutz** beachtet werden. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn der operative Betrieb parallel zur Montage und Inbetriebnahme weiterlaufen muss.

Für einen sicheren und fehlerfreien Betrieb des AutoStore-Systems muss das Personal geschult werden. Ein entsprechendes **Schulungskonzept** und **Schulungsunterlagen** sind frühzeitig zu erstellen. Die Verantwortlichkeit für die Schulung sollte im Vergabeprozess eindeutig festgelegt werden. Mitarbeiter, die mit dem System arbeiten, sollten genauso geschult werden, wie das Personal, welches für die Wartung zuständig ist.

Für die **Erstbefüllung des Grids** mit leeren Bins ist ausreichend Zeit, Mitarbeiterressourcen und Fläche einzuplanen. Die Behälter müssen mit Barcodes ausgezeichnet, hinsichtlich der Abmessungen und Beschädigungen überprüft und dann eingelagert werden. Dieser Prozess sollte sehr sorgfältig ausgeführt werden, da dadurch spätere Probleme und Störungen vermieden werden können.

Vor dem Go-Live sollte das AutoStore-System auf Herz und Nieren geprüft werden. Der **Test** sollte **alle Funktionen** umfassen. Der reale Betrieb sollte erst dann gestartet werden, wenn die relevanten Funktionen einwandfrei arbeiten und das Personal entsprechend qualifiziert ist. Der **Testzeitraum** sollte **nicht zu kurz** gewählt werden.

Neben der Einlagerung der leeren Bins müssen auch die Artikel erstmalig in das Autostore-System eingelagert werden. Die **Umzugsplanung** ist frühzeitig zu starten und ausreichende Personalressourcen vorzusehen. Im Bereich des Lagerverwaltungssystems ist mit einem erhöhten Pflegeaufwand z.B. von Stammdaten zu rechnen. Im Zuge der Umzugsplanung sollten auch **Notfallkonzepte** ausgearbeitet werden, damit auf dieses bei Verzögerungen während des Umzuges oder bei technischen Störungen zurückgegriffen werden kann.

Bei der Einlagerung von Artikeln ist auf die **Befüllung der Bins** zu achten. Die korrekte Befüllung der Bins sollte ein wesentlicher Punkt in der Mitarbeiterschulung sein. Viele technische Störungen können vermieden werden, wenn bei der Einlagerung und auch bei der Entnahme auf die Befüllung der Bins geachtet wird.

Vor allem in der Start-Phase nach dem Go-Live ist vermehrt mit technischen Fehlern oder auch Bedienungsfehlern zu rechnen. Hier kann eine fachliche Unterstützung vom Distributor vor Ort sehr hilfreich sein. Dieser **Support-vor-Ort** des Auftragnehmers (Distributor) sollte bereits in der Vergabephase zwischen den Parteien abgestimmt werden.

Die Leistungsfähigkeit des AutoStore-Systems sollte im realen Betrieb nachgewiesen werden. Ein erfolgreicher Leistungstest vor der Inbetriebnahme ist ein erster Indikator, dass die Anlage reif für den produktiven Betrieb ist, kann aber einen **Test unter realen Bedingungen** nicht ersetzen. Bereits im Vergabeprozess sollte das Vorgehen für die finale Abnahme festgelegt werden. Im Zuge dieser Abnahme sollten die Leistungsfähigkeit und die technische Verfügbarkeit des AutoStore-Systems überprüft werden. In diesen Test sollte auch das Lagerverwaltungssystem einbezogen werden. Der Test sollte mit realen Aufträgen erfolgen. Hierzu ist es wichtig, dass bereits in der Planung die zugrunde gelegten Auftragsstrukturen dokumentiert werden. Dadurch kann sowohl der Distributor als auch der Nutzer prüfen, ob die damals festgelegten Anforderungen auch Grundlage für den Test waren. Für die Überprüfung der technischen Verfügbarkeit sollte das Zusammenspiel zwischen den Robotern, den Ports und der Steuerung in einem Verfügbarkeitsmodell abgebildet und eine Gesamt-Systemverfügbarkeit berechnet werden.

Bei automatisierten Systemen ist damit zu rechnen, dass nach der Inbetriebnahme häufiger kleine Fehler auftreten. Es sollte vertraglich sichergestellt werden, dass der **Distributor** bis zur finalen Abnahme die Fehlerbehebung schnell und problemlos **unterstützt**.

Um eine hohe Verfügbarkeit des Systems zu garantieren, sollte der Nutzer wichtige **Ersatzteile bevorraten**. Die Ersatzteileempfehlung vom Distributor sollte im Zuge der Vergabe

abgestimmt und die Ersatzteile rechtzeitig beschafft werden.

Hinweise zum Betrieb und zur Instandhaltung

Die Nutzer von AutoStore-Systemen haben von keinen größeren technischen Problemen berichtet. Trotzdem ist eine **regelmäßige Wartung und Überprüfung der Roboter** wichtig. Je nach Größe des Systems sind ggf. Ersatzroboter vorzusehen, damit der Wartungsprozess unabhängig vom Betrieb des Systems erfolgen kann. (Einfluss auf Systemleistung)

In den Schienen kann sich Abrieb von den Laufrädern der Roboter absetzen (bzw. Staub aus dem gesamten Lager). Aus diesem Grund sind die **Schienen regelmäßig zu reinigen**. Hierfür kann bei einem Roboter eine Art „Staubsauger“ vorgesehen werden. Weiterhin sollte die Sensorik für die Positionsbestimmung des Roboters regelmäßig gereinigt werden.

Der **Servicevertrag** und die **Gewährleistungsbedingungen** sollten bereits

in der Vergabephase klar definiert und **im Vertrag fixiert** werden.

Um Probleme im Betrieb der Anlage schnell beim Distributor adressieren zu können, empfiehlt sich die Festlegung eines **zentralen Ansprechpartners für beide Seiten** (Nutzer und Distributor).

Um die Verfügbarkeit des Systems weiter zu steigern, sollten für **typische Störungen** eine **Dokumentation** für die Störbeseitigung erstellt werden.

Viele Nutzer verfügen inzwischen über ein Dashboard, auf dem die wichtigsten Kennzahlen aufgeführt werden. Durch eine regelmäßige Protokollierung der Kennzahlen können Veränderungen schnell erkannt und ggf. eine Ursachenanalyse angestoßen werden. Bei der Einführung eines neuen Lagerverwaltungssystems sollten diese Anforderungen gleich berücksichtigt werden.



Foto 8-1

9. FAZIT

Die Nutzer eines AutoStore-Systems sind sehr zufrieden mit dem System. Dies zeigen auch die abschließenden Fragen.

Die Teilnehmer sollten ihre Zufriedenheit mit dem System anhand von Schulnoten bewerten. (1 – sehr gut, 5 – mangelhaft). In der Abbildung 9-1 ist das Ergebnis dargestellt. 93 Prozent der Befragten haben ihre Zufriedenheit mit der Note zwei oder besser bewertet.

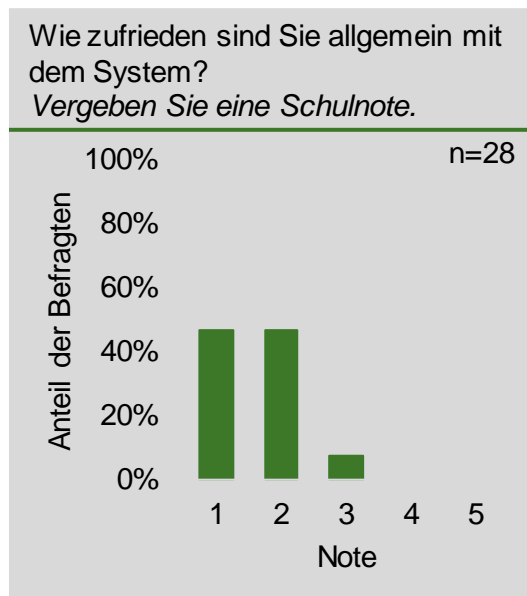


Abbildung 9-1

Etwas schlechter fällt die Bewertung hinsichtlich des Services aus. Wobei von einer guten Bewertung gesprochen werden kann, da 75 Prozent der Bewertungen auf die Noten eins und zwei entfallen sind. Die Bewertung hinsichtlich des Services ist in Abbildung 9-3 dargestellt.

Neben der Frage nach der allgemeinen Zufriedenheit wurden die Teilnehmer um eine Rückmeldung hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte gebeten. In Abbildung 9-2 ist das Ergebnis für die Bewertung der Bedienbarkeit des AutoStore-Systems abgebildet. Es zeigt sich ein ähnlich positives Bild wie bei der Frage nach der allgemeinen Zufriedenheit. Auch hier haben 92 Prozent der Teilnehmer die Note eins oder zwei vergeben.

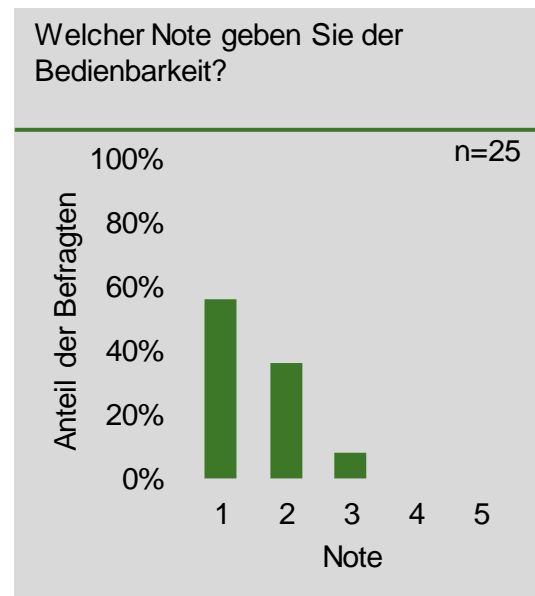


Abbildung 9-2

AutoStore hebt auf seiner Internetseite die hohe Verfügbarkeit des Systems hervor. Ähnlich sehen es auch die Studienteilnehmer. 89 Prozent bewerteten die technische Verfügbarkeit des Systems mit den Noten eins und zwei. (siehe Abbildung 9-4)

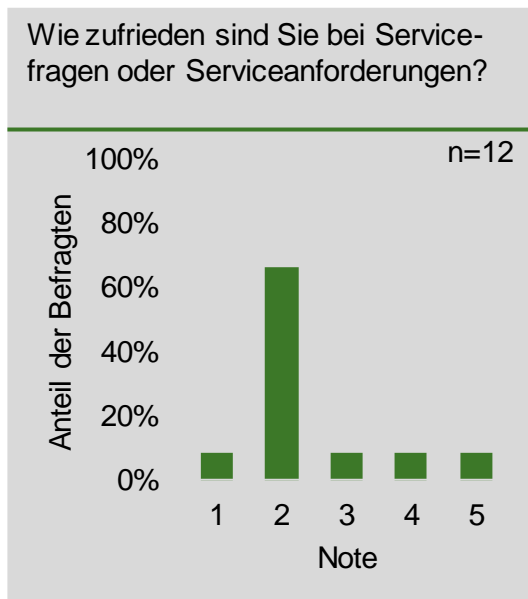


Abbildung 9-3

Zum Abschluss der Befragung wurden die Teilnehmer um ihr persönliches Ranking von verschiedenen Lagersystemen gebeten. Dabei sollten die Teilnehmer einschätzen, welches Lagersystem in den kommenden 15-20 Jahren am häufigsten im Bereich Kleinteilelagerung realisiert wird. Die Ergebnisse zu dieser Frage sind auf zwei unterschiedliche Weisen in Abbildung 9-5 dargestellt.

Auf der linken Seite kann der Abbildung die Bewertung je Platz entnommen werden. 35 Prozent der Befragten sind der Meinung, dass ein manuelles Lager am häufigsten im betrachteten Zeitraum realisiert wird. Immerhin 31 Prozent der Befragten sehen hier das AutoStore-System auf Platz 1. In den weiteren Zeilen auf der linken Seite sind die Ergebnisse für die einzelnen Plätze dargestellt. Interessant ist, dass

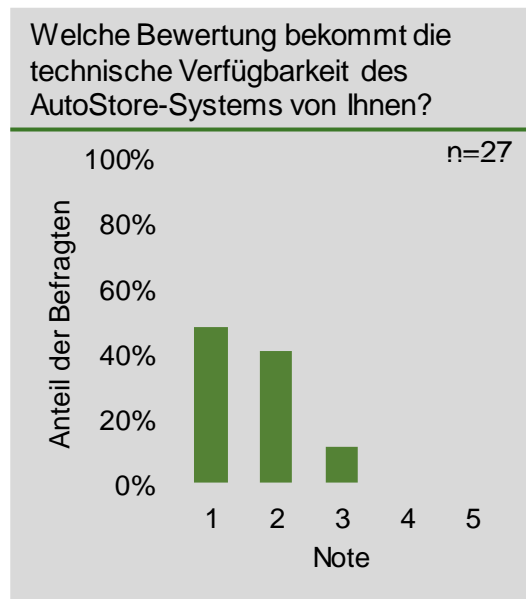


Abbildung 9-4

32 Prozent der Befragten das manuelle Lager auf dem letzten Platz sehen. Bei der Bewertung des manuellen Lagers spalten sich die Meinungen. Teilnehmer, die an eine zunehmende Automatisierung in allen Einsatzbereichen glauben und Teilnehmer, die für viele Anwendungsfälle keine sinnvollen Automatisierungslösungen, sowohl technisch als auch wirtschaftlich, sehen.

Auf der rechten Seite der Abbildung 9-5 ist die Rangfolge der betrachteten Lagersysteme auf Grundlage einer mittleren Platzierung dargestellt. Bei dieser Betrachtung liegen Shuttle-Systeme knapp vor dem AutoStore-System. Aber auch das AKL und manuelle Lager sind hinsichtlich der mittleren Platzierung in Schlagdistanz zu den beiden erstplatzierten Systemen. Das Paternoster-Lager ist abgeschlagen auf dem letzten Platz.

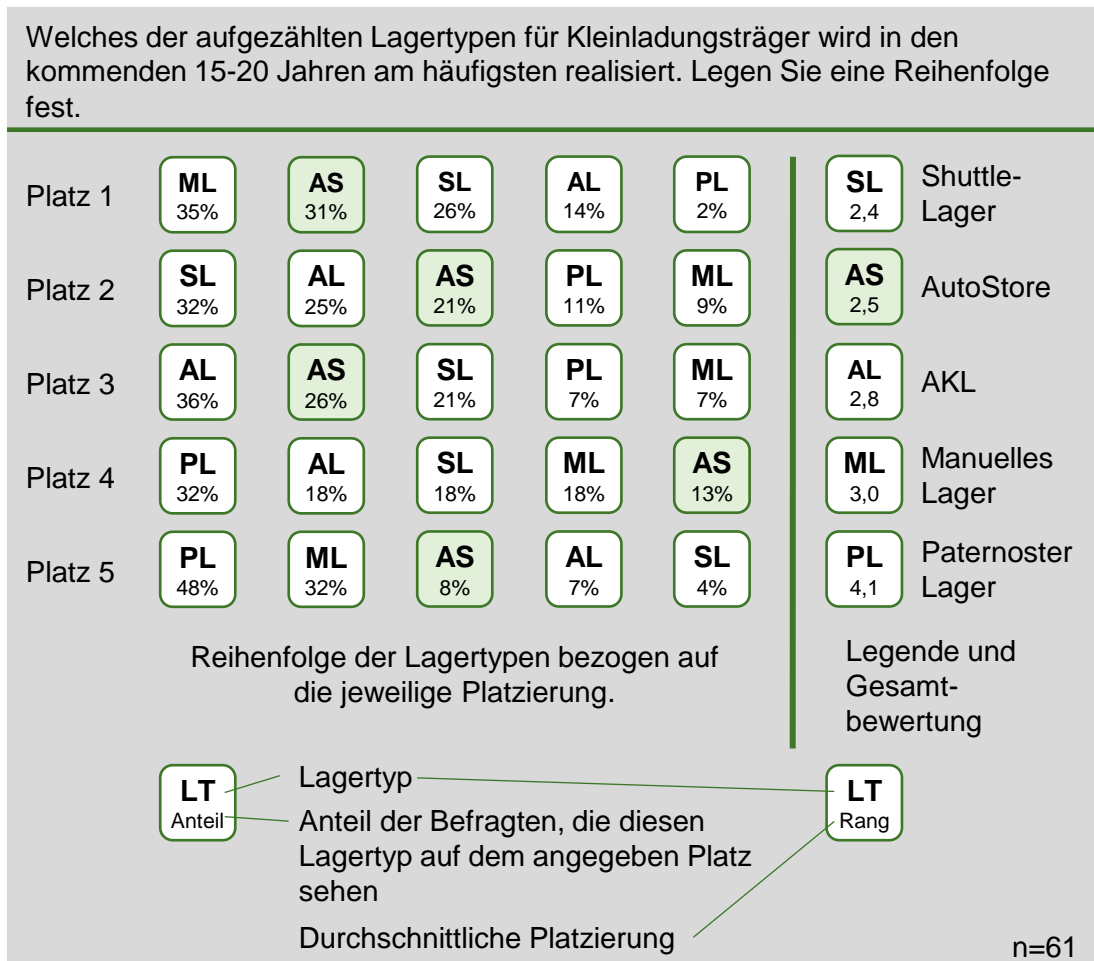


Abbildung 9-5

Zusammenfassend kann festgestellt werden, AutoStore ist ein ausgereiftes Produkt, das von den Nutzern geschätzt wird. Es gibt Verbesserungspotenziale bei der Transparenz des Planungsprozesses und beim Abnahmevergehen, welches sich stärker an den Nutzeranforderungen orientieren sollte und nicht nur an technischen Leistungen unter „Laborbedingungen“.

Die Einsatzfälle für das AutoStore-System konzentrieren sich heutzutage auf Kommissionierprozesse. Für andere Anwendungsfälle ist das AutoStore nur bedingt einsetzbar, da es sich um ein sehr geschlossenes System handelt. Dies bedeutet, dass die Bins das

Lagersystem inkl. angrenzender Bereiche nicht verlassen sollen. Eine Nutzung eines AutoStores für die Produktionsversorgung ist damit schwerer zu realisieren, da die Lagerbehälter oft auch in der Produktion für die Bereitstellung genutzt werden. Für eine Bevorratung (von größeren Mengen) ohne Kommissionierprozess ist die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einem Palettenregallager schwierig darzustellen.

Zukünftig könnten AutoStore-Systeme interessante Lösungen für automatisierte Produktionssupermärkte, Konsolidierungslager, Archiven oder auch für Abholstationen im Handel sein.

Literaturverzeichnis

- [Int-20] N.N., AutoStore Internetseite. <https://autostoresystem.com/de/systeme/> (20.03.2020)
- [Gün-07] Günthner, Willibald A.; Heptner, Klaus. Technische Innovationen für die Logistik. Huss-Verlag, München 2007
- [Bor-09] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation – Für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer, Heidelberg, 2009.
- [Pod-19] Podcast „Irgendwas mit Logistik“ Episode #23: Cube Storage Pioneers, Gast: Peter Bimmermann von AutoStore. <http://thinking.libsyn.com/> Veröffentlicht 16.12.2019. Abgerufen am 15.03.2020
- [Int-20a] N.N., Website Handling.de, <https://www.handling.de/lager-und-logistik/autostore-faehrt-2019-solides-finanzergebnis-ein.htm> (12.08.2020)

Entwicklung eines parametrierbaren Simulationsmodells für das AutoStore-System

Autor: Christoph Scherbarth

AutoStore ist ein automatisiertes Lagersystem für Kleinteile und deren Kommissionierung nach dem "Ware-zu-Mensch"-Prinzip. Mithilfe der ereignisorientierten, diskreten Simulation können Planungsvarianten für dieses System erprobt sowie optimiert werden. Hierfür wurden reale Abläufe analysiert, ausgewertet und aufbauend auf den resultierenden Erkenntnissen ein parametrierbares Simulationsmodell erstellt. Dieses wurde anhand von Echtdateen validiert.

Grundlagen

Bei der Auslegung und Steuerung einer Simulation eines solchen Systems sind die in den folgenden Abschnitten beschriebenen leistungsbeeinflussende Aspekte abzuleiten, die ebenfalls in Ansätzen der Literatur zu finden sind [4].

Auftragsgenerierung sowie Auftragsvergabe

Damit ein Roboter weiß, wann er wohin fahren muss, benötigt er Transportaufträge. Ein Transportauftrag, hier Auftrag genannt, wird über einen Startpunkt, eine früheste Startzeit und ein Ziel (Port) charakterisiert [5].

Die Systemlast muss für die Simulationsstudie definiert werden. Diese Aufgabe fällt der Auftragsgenerierung zu. Bei der Optimierung eines existierenden Systems können reale Auftragsdaten herangezogen werden [6]. Wenn die durchzuführende Simulationsstudie zur Konzeptionierung eines neuen Systems genutzt werden soll, müssen passende Aufträge im Simulationsmodell mithilfe eines Auftragsgenerators erzeugt werden.

Die Aufgabe der Auftragsvergabe ist die Zusammenführung von

Transportaufträgen und Fahrzeugen (Robotern) [5]. Grundsätzlich wird die Art der Auftragsvergabe in zwei Kategorien unterteilt. Erstens, ein Auftrag ist freigegeben und muss einem Fahrzeug zugewiesen werden. Zweitens, ein Fahrzeug ist frei und kann einen neuen Auftrag übernehmen. Die dementsprechenden Auftragsstrategien sind Auftrags-initiierte und Fahrzeug-initiierte Strategien [6]. Hierbei können bei beiden Ansätzen unterschiedliche, auch multikriterielle, Auswahlkriterien genutzt werden [7].

Routing

Sobald einem Roboter ein Ziel zugewiesen wird muss entschieden werden, welchen Weg er fährt, um über das Wegenetz des Systems dorthin zu gelangen. Dieser Prozess wird als Routing bezeichnet [6]. Hierbei wird meist der schnellste Weg vom Startknoten zum Zielknoten zum aktuellen Zeitpunkt gesucht [6]. Bei dem AutoStore-System bewegen sich die Roboter geführt auf Schienen. Sie können sich dabei gegenseitig behindern. Des Weiteren können temporär abgestellte Behälter ebenfalls dynamisch das Wegenetz beeinflussen [4]. Darum muss beim Routing der aktuelle Systemzustand berücksichtigt werden, um

Blockierungseffekte und Stillstände zu vermeiden. Es stehen aus dem Bereich der Graphentheorie unterschiedliche Algorithmen für diese Aufgabe zur Verfügung. Beispiele hierfür sind der Dijkstra -Algorithmus [8], der A*-Algorithmus [9], der Floyd-Warschall-Algorithmus [10] und der Algorithmus von Bellman und Ford [11].

Beim AutoStore-System wird der zu fahrende Weg eines Roboters, zum Zeitpunkt der Annahme des Auftrags, auf der Basis des aktuellen Systemzustands bestimmt. Darum ist jeweils der kürzeste Weg zwischen dem Startknoten und dem Zielknoten relevant, welchen alle genannten Algorithmen bestimmen können. Im Hinblick auf die Implementierung sind somit die Rechenzeit für die Wegfindung und Kenntnisse zum Systemzustand entscheidenden Faktoren. Deshalb wurde zunächst der Dijkstra-Algorithmus und darauf aufbauend der A*-Algorithmus umgesetzt.

Deadlock-Handling

Bei dem dicht befahrbaren AutoStore-System können auf dem Grid wechselseitige Blockaden zwischen Fahrzeugen –sogenannte Deadlocks– entstehen. Daher besteht eine Herausforderung bei der Auslegung und Steuerung dieses Systems im Deadlock-Handling [6].

1. Ein Deadlock entsteht genau dann, wenn vier Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind [12]:
2. Keine Ressource kann von mehr als einem Prozess zeitgleich in Anspruch genommen werden.
3. Prozesse blockieren einmal zugewiesene Ressourcen,

während sie auf die Zuweisung weiterer Ressourcen warten.

4. Prozesse geben einmal zugewiesene Ressourcen erst dann frei, wenn diese nicht mehr benötigt werden.
5. Es liegt ein Kreisschluss von Prozessen vor, die jeweils auf Ressourcen warten, welche von anderen Prozessen innerhalb dieses Kreises blockiert werden.

Beim AutoStore-System entsprechen in diesem Beispiel einzelne Stapelplätze den Ressourcen, sowie die Fahrzeuge den Prozessen. Ein Roboter steht auf zwei Ressourcen und blockiert diese, wenn er auf andere, momentan blockierte, Ressourcen wartet. Die ersten drei Bedingungen sind somit beim AutoStore erfüllt. Das Deadlock-Handling setzt daher an der vierten Bedingung an.

In der Literatur werden hinsichtlich des Umgangs mit Deadlocks drei generische Ansätze unterschieden [12]:

- *Deadlock-Prävention*
- *Deadlock-Vermeidung*
- *Erkennen und Auflösen von Deadlocks*

Bei der Prävention wird auf Basis von grundsätzlichen Regeln ein Deadlock verhindert, wie z.B. eine Einbahnstraße im Straßenverkehr. Bei der Vermeidung werden die benötigten Ressourcen situativ verteilt, was im Straßenverkehr einer Ampel entspricht. Alternativ können Deadlocks beim Auftreten erkannt und aufgelöst werden, wodurch im Straßenverkehr Autos auch rückwärtsfahren müssten, um sich gegenseitig auszuweichen [13].

Die Deadlock-Prävention ist bei der Simulation eines AutoStore-Systems nicht möglich, da der Grid-Aufbau vorgegeben und das Lagersystem definiert ist. Auf diesem Grid können sich die Roboter bidirektional bewegen und daher begegnen.

Die Vermeidung von Deadlocks erlaubt eine hohe Ressourcenauslastung, erfordert jedoch geeignete Strategien. Eine dieser Strategien ist das beschriebene Routing auf Basis des aktuellen Systemzustandes.

Aufgrund der Dynamik des Systems und der Bauart des Lagers, ist der Schritt des Erkennens und Auflöserns von Deadlocks dennoch unvermeidbar.

Grundlegende Verfahren zur Auflösung von Deadlocks wurden in der Literatur bisher nicht angemessen vorgeschlagen, weshalb für die Implementierung im AutoStore-Simulationsmodell eine individuelle Lösung entwickelt wurde.

Batterienmanagement

Ein weiterer Einflussfaktor eines elektrischen Systems, mit Batterien als Energiespeicher, ist das Batterienmanagement [6]. Es geht bei dieser Arbeit um die Leistung eines AutoStore-Lagersystems unter Vollast. Mitarbeiterpausen, sowie Unterbrechungen durch Schichtwechsel und die in der Realität vorkommenden Phasen mit weniger Roboterlastung können genutzt werden, um Fahrzeuge zu laden. Das Batterienmanagement wird daher im Rahmen dieser Arbeit vereinfacht betrachtet.

Verwandte Arbeiten

Beckschäfer [14] betrachtet in einem ereignisdiskreten Simulationsmodell ebenfalls das AutoStore-System mit dem Ziel, Lagerstrategien anhand vorhandener Randbedingungen zu testen. Hierbei kommt für die Routenplanung der A*-Algorithmus zum Einsatz. Dadurch erhält er ein Deadlock-freies System. Dies ist jedoch nicht dem Routing geschuldet, sondern nicht realitätsnahen Vereinfachungen. Es werden Kreuzungen von geplanten Robotern unterbunden. Auch ein wichtiger Teilprozess, das Umstapeln der Behälter, entspricht nicht realen Beobachtungen. Dadurch wurde das Deadlock-Handling auf die Deadlock-Vermeidung reduziert. Durch die getroffenen Vereinfachungen ist der Ansatz des Papers für dieses Simulationsmodell ungeeignet.

Lee [15] nutzt für sein Simulationsmodell, welches ein dem AutoStore ähnliches System abbildet, eine Modifikation des A*-Algorithmus für die Routenplanung. Die erste Priorität liegt hierbei auf einem Deadlock-freien Routing. An zweiter Stelle steht die Findung des kürzesten Weges über das Wegenetz. Der Algorithmus wurde an das zu untersuchende System angepasst und eine Deadlock-Vermeidung mithilfe von individuellen Strategien erarbeitet. Als Ergebnis jeder einzelnen Wege-Berechnung entstehen mehrere mögliche Wege, wovon derjenige mit dem kürzesten Fahrzeitaufwand gewählt wird. Auf das Erkennen und Auflösen von Deadlocks wird in der Veröffentlichung nicht eingegangen. Im Hinblick auf dieses Simulationsmodell wurde die Priorisierung des Routings übernommen. Das genutzte

System unterscheidet sich jedoch vom AutoStore-System, wodurch die individuellen Strategien nicht anwendbar sind.

Ein alternativer Ansatz des Routings ist die von Lienert verwendete Methode des zeitfensterbasierten Routings [6]. Hierbei wird jeder Ressource, somit Binstapel im Lagersystem, ein Zeitstrahl zugeordnet. Bei der Berechnung einer Bewegung eines Fahrzeuges wird der kürzeste Weg durch die Zeitstrahlen der benötigten Ressourcen ermittelt und die benötigten Zeitfenster an entsprechenden Stellen besetzt. Dadurch könnten die Fahrzeuge für andere Verkehrsteilnehmer zur Seite fahren oder die Geschwindigkeit herabsetzen, um zum gewollten Zeitpunkt den Zielort zu erreichen und einen Stau zu verhindern. Auch hier wurde eine individuelle Lösung geschaffen, um vorkommende Deadlocks zu erkennen und aufzulösen. Das zeitfensterbasierte Routing benötigt bei der Simulation eine hohe Rechenzeit, was diesen Ansatz für die gegebene Aufgabenstellung ungeeignet macht.

Güller und Hegmanns [16] nutzen für die Simulation eines ähnlichen Systems einen mathematischen Ansatz zur Generierung von Aufträgen. Bei ihrer Arbeit geht es um die Leistungsanalyse eines automatischen Multishuttle-Lagersystems mit unterschiedlichen Auftragsstrukturen. Die notwendigen Aufträge werden in einem unabhängigen Prozess mit exponentieller Basis generiert. Hierbei wird als Grundlage dieses Prozesses eine erwartete Leistung herangezogen. Die resultierende Leistung des simulierten Systems ist dann von der Auftragsstruktur abhängig. Der Ansatz einer

Auftragsgenerierung in einem unabhängigen Prozess kann von Güller und Hegmanns in dieser Arbeit übernommen werden.

Das AutoStore-Lagerkonzept

Im Folgenden werden die dem AutoStore-System zu Grunde liegenden Vorgänge vorgestellt. Daraufhin erfolgt die Darlegung der Eigenschaften dieses Lagerkonzeptes, um im nächsten Kapitel auf diesem Wissen aufbauend die Umsetzung in ein Simulationsmodell aufzuzeigen.

Prozesse des AutoStore

Alle Bewegungen der Roboter auf dem Grid lassen sich –bis auf den Ladevorgang– in drei Prozesse gliedern [3]. Diese Prozesse sind in dieser Beschreibung unabhängig von denen der Deadlock-Bedingungen. Ein Teilprozess, das Umlagern bzw. Ausgraben, wird am Ende dieses Absatzes gesondert betrachtet.

Beim Einlagerungsprozess wird Ware dem Lagersystem zugeführt. Dies geschieht über einen Port. Hierfür wird ein Bin mit ausreichend Platz für die Ware im Lager ausgewählt und, falls er nicht der oberste Behälter in seinem Stapel ist, ausgegraben. Danach erfolgt die Anlieferung des Bins an einen Port, an dem in ihm die Ware von einem Mitarbeiter abgelegt wird. Danach befördert ein Roboter den Bin zurück in den Lagerblock, jedoch wird er nun oben auf einen Stapel gesetzt.

Der Auslagerungsprozess erfolgt analog, jedoch wird die Ware aus dem Lagerblock herausgenommen. Hierfür muss der Behälter aus einer kleineren Menge an Bins ausgewählt werden, nämlich aus allen Bins, in denen die

auszulagernde Ware in ausreichender Menge vorhanden ist.

Über den Tag verteilt gibt es für gewöhnlich Phasen, in denen die Roboter nicht voll ausgelastet werden. Diese Niedriglastphasen nutzen die Roboter, um ihre Energiespeicher aufzuladen oder Behälter umzusortieren und somit zukünftige Aufträge vorzubereiten. So werden bald benötigte Bins näher an dem entsprechenden Port und weiter oben in den Stapeln platziert, um auf sie, sobald sie benötigt werden, schneller zugreifen zu können. Dies geschieht ebenfalls über Nacht, wenn in dieser Zeit nicht kommissioniert oder eingelagert wird.

Oft ist ein Bestandteil dieser Prozesse das Umlagern. Hierbei wird ein Bin aus einem Stapel benötigt, wobei dieser Behälter nicht ganz oben in diesem Stapel liegt. Hierfür werden die darüber liegenden Bins temporär an anderen Stellen abgelegt. Dabei können blockierte Stapel entstehen, indem ein Stapel bis zu einer Platz über die Schienenebene des Grids aufgefüllt wird. Über diesen blockierten Stapel können keine Roboter fahren. Alternativ gibt es einen variablen Anteil von Bin-Stapeln in jedem System, die nicht voll befüllt sind, wodurch temporäre Speicherplätze unter der Fahrebene der Roboter zur Verfügung stehen. Nachdem der entsprechende Bin aus dem Stapel genommen wurde, werden die temporär abgestellten Behälter in umgekehrter Reihenfolge zurückgestapelt. Somit bleibt die alte Reihenfolge erhalten.

Eigenschaften des AutoStore-Konzeptes

Das AutoStore-Lagersystem nutzt das Paretoprinzip für sich, welches besagt, dass 80 % des Umsatzes von 20 % der Artikel generiert werden [3]. Dies lässt sich mithilfe einer ABC-Analyse untersuchen [17]. Hier wird jeder Artikel einer Kategorie zugeordnet. Die A-Artikel verursachen den meisten Durchsatz (Lagerbewegungen), die B-Artikel und die C-Artikel werden nicht so häufig bewegt. Durch das System des Umlagerns entsteht eine natürliche ABC-Struktur im AutoStore-Lagersystem. Die A-Artikel sind so mit kurzen Zugriffszeiten erreichbar, wodurch C-Artikel in den unteren Bereichen der Binstapel landen.

Entwicklung des Simulationsmodells

Rahmenbedingungen

Vor der Entwicklung des Simulationsmodells wurden die Eingangs- sowie Ausgangsgrößen der Simulationen definiert. Des Weiteren wurden Vereinfachungen des Modells festgelegt. Diese werden im Folgenden dargelegt.

Vereinfachungen

In umgesetzten Systemen definieren die Lagerplätze der Waren im Lagersystem, wo benötigte Bins geholt oder abgestellt werden müssen. Dieser Vorgang ist in der Bestandsführung verankert. Wenn ein Artikel aus- oder eingelagert werden muss, wird von einer Steuerung ein entsprechender Bin ausgewählt und in einen Fahrauftrag eingebettet weitergegeben. Bei der Simulation eines Systems mit einer Bestandsführung müsste der Start-

Systemzustand eines existierenden Systems ermittelt werden oder bei einem noch nicht umgesetzten System eine Simulation oder Definition der Einlaufphase stattfinden. Dies würde die Bedienzeit sowie die Rechenzeit der Simulationsstudien erhöhen. Aus diesen Gründen besitzt das Simulationsmodell keine Bestandsführung, sondern wird, wie unten beschrieben, auf Basis von mathematischen Ansätzen und dem Paretoprinzip mit Aufträgen versorgt.

Auch die Batterienutzung wird vereinfacht ausgeführt. Im Durchschnitt ist in dem Simulationsmodell jeder Roboter ca. 30% seiner Betriebszeit mit dem Laden seiner Batterien beschäftigt, was nach Beobachtungen realitätsnah ist.

Wenn gleichzeitig auf zwei Behälter eines Stapels zugegriffen werden muss, kann es zu einer Verkettung von Umlagerungen kommen. Solche möglichen Verkettungen mehrerer Prozesse werden in dem Simulationsmodell unterbunden.

Wartungsarbeiten, Störungen und andere externe Eingriffe, welche das System stilllegen, werden ignoriert. Durch eine vom Hersteller angegebenen nutzbare Betriebszeit von 99,7 % des realen Systems, entsteht hier lediglich ein kleiner Fehler [3,8].

Eingangs- und Ausgangsgrößen

Um Simulationsstudien zielgerichtet durchführen zu können, wurden Eingangsparameter, Simulationsvariablen und Ausgangsgrößen definiert. Eingangsparameter bilden die Basis der Experimente. Sie werden zumeist peripher definiert und sind für alle

Experimente einer Simulationsstudie gleich. Simulationsvariablen können innerhalb einer Simulationsstudie verändert werden, um geeignete Konfigurationen und Optimierungen eines Systems zu finden. Zur Auswertung der Experimente müssen alle Eingangsgrößen sowie bestimmte Ausgangsgrößen dokumentiert werden, um jedes Experiment auswerten zu können und somit Erkenntnisse zu erlangen.

Die Eingangsparameter sind meist peripher definiert, wie bspw. die technischen Daten des genutzten Roboters. Die Simulationsvariablen bestehen zum einem aus dem physischen Aufbau des zu simulierenden Systems, zum anderen aus der Roboteranzahl, Portanzahl und -spezifikation sowie mathematischen Parametern, welche die Basis der Auftragsgenerierung sind. Die Ausgangsparameter bestehen aus der Leistung des Systems sowie der Ports in Behälterpräsentationen pro Stunde, der zeitlich differenzierten Auslastung der Roboter und der benötigten Zeit um Ausgrabungen durchzuführen. Es werden alle Ein- und Ausgangsgrößen jedes Experimentes dokumentiert.

Aufbau des Simulationsmodells

Das Konstrukt des Simulationsmodells besteht aus sieben Modulen, die mit ihren Zusammenhängen in Abbildung A1 dargestellt sind. Die Umsetzung des Simulationsmodells erfolgte in Tecnomatix Plant Simulation. Das Lagersystem ist der Kern der Simulation. Hier wird der Betrieb des Lagersystems abgebildet und animiert. Die anderen Klassen werden in den folgenden Abschnitten einzeln beschrieben.

Zentrale Steuerung

Die zentrale Steuerung ist der Datenspeicher des Simulationsmodells. In ihr sind die Eingangsparameter, Simulationsvariablen und der aktuelle Systemzustand zu finden. Sie dient genauso als Initialisierungs-Zentrale des

Systems. Von hier aus werden zu Beginn jedes Experimentes notwendige Verknüpfungen zwischen den Klassen definiert und die Initialisierung sowie Routinen anderer Bausteine ausgelöst.

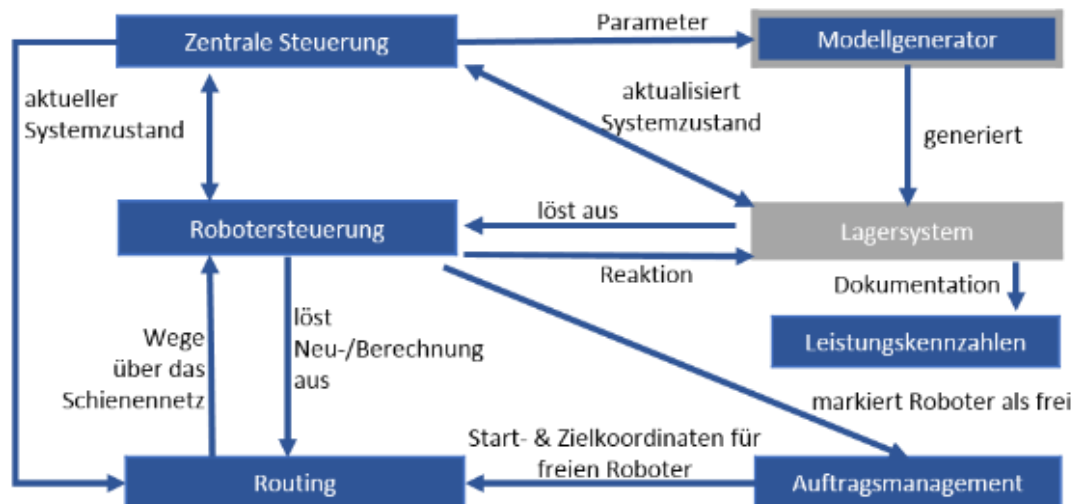


Abbildung A1 - Schematischer Aufbau des Simulationsmodells

Modellgenerator

Der Modellgenerator baut das Gerüst des Simulationsmodells im Rahmen der Initialisierungs-Phase auf. Mit ihm wird die Struktur des Lagersystems erstellt und alle notwendigen Voraussetzungen für ein funktionierendes Experiment geschaffen. Hierbei wird das AutoStore-Lagersystem in der Draufsicht erzeugt. Das konkrete Ziel ist die Generierung und Modifikation von Bin-Stapeln in einer definierten Anordnung. Diese Bin-Stapel werden als je ein Rechteck in der Klasse Lagersystem dargestellt, siehe Abbildung A2. Ihnen werden im Zuge der Initialisierung bestimmte Parameter zugewiesen, die ihre Funktion definieren und für diese

notwendig sind. Nach der Ausführung des Modellgenerators ist die Initialisierungs-Phase des Simulationsmodells beendet. Als Resultat ist ein rechteckiges Raster aus Bin-Stapeln entstanden und jeder dieser Stapel, entsprechend seiner Funktion, mit den notwendigen Parametern und Symbolen versehen, siehe Abbildung A2. Zusätzlich befindet sich auf jeder Ladestation ein Roboter. Von diesem Moment an sind fast alle ausgeführten Funktionen des Modells Reaktionen auf Bewegungen von Robotern. Das Auftragsmanagement ist hierbei ausgenommen. Dieses sorgt dafür, dass die Roboter jederzeit ein Ziel bekommen können, welches sie erfüllen müssen.

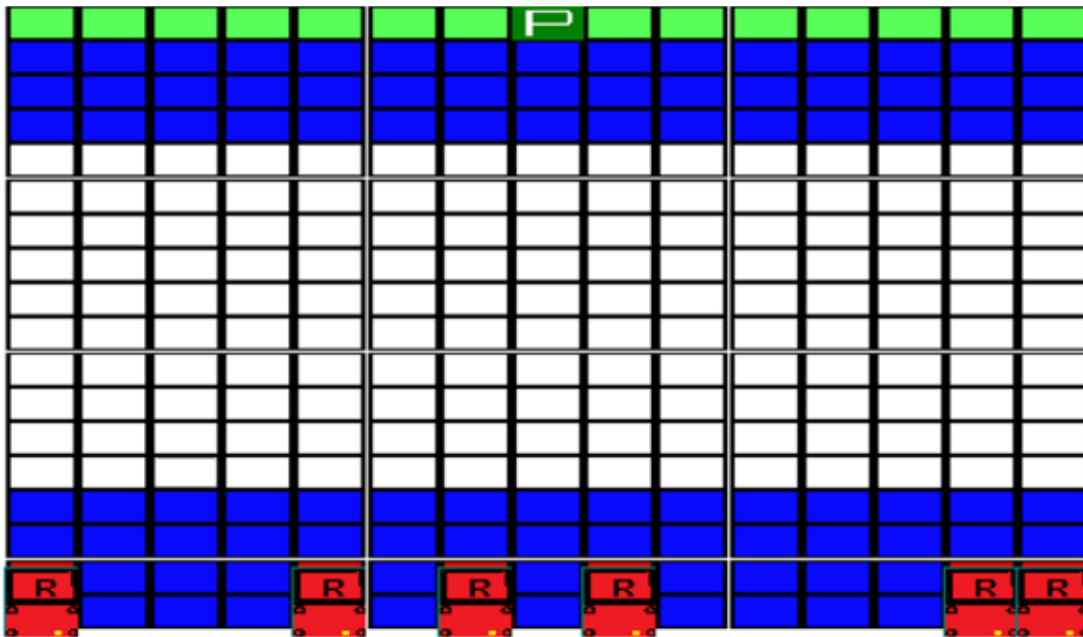


Abbildung A2 - Resultierendes Lagersystem, Draufsicht

Auftragsmanagement

Im Auftragsmanagement werden Aufträge generiert und den Robotern zugeordnet. Hierbei wird nicht zwischen Einlagerungsauftrag und Auslagerungsauftrag differenziert. Jeder Auftrag beinhaltet einen Stapel, an dem der Bin abgeholt werden muss, sowie dessen vertikale Position in diesem Stapel. Zusätzlich erhält er eine ID, sowie einen Port, an welchem der Bin geliefert werden soll. Die Auswahl des Stapels erfolgt zufällig über das Grid verteilt. Die vertikale Position im Stapel wird nach Wahrscheinlichkeiten definiert, die als Eingangsparameter festgelegt werden. Dies erfolgt differenziert nach den möglichen Höhen oder mithilfe einer negativen Exponentialfunktion.

Die Auftragsvergabe erfolgt Fahrzeuginitiiert. Dabei gelten folgende Kriterien:

1. Ein Batterie-Ladeauftrag wird unabhängig von allen anderen Kriterien ausgeführt.
2. Es kann kein Auftrag vergeben werden, welcher in seiner Ausführung einen Stapel beinhaltet, der aktuell in einen anderen Auftrag involviert ist.
3. Es wird nach Aufträgen für Ports gesucht, bei denen die Warteschlange vor diesen am kürzesten ist, also am wenigsten Aufträge momentan aktiv vor dem Port warten. Hierfür gibt es eine parametrierbare Maximalgrenze.
4. Wenn diese bei allen Ports erreicht ist, werden Aufträge vorbereitet. Hier werden präferiert Aufträge für Ports mit wenigen bereits vorbereiteten Aufträgen ausgewählt.
5. Wenn auch hier die parametrierbare Maximalgrenze erreicht ist und kein Auftrag zugeordnet werden konnte, wird ein Ladeauftrag mit einer Ladezeit von fünf Minuten übergeben, damit

das Fahrzeug keinen als Speicher genutzten Stapel blockiert.

Sobald ein Auftrag für einen Roboter ausgewählt wurde, folgt die Übergabe der notwendigen Informationen an das Routing mit einer Zuordnung zum Roboter.

Robotersteuerung

Die Robotersteuerung ist das funktionelle Gehirn des Simulationsmodells. Hier wird entschieden, ob der Roboter weiterfährt, bremst, stoppt oder wartet. Des Weiteren werden das Aufnehmen und Abgeben der Bins koordiniert. Falls notwendig können Funktionen anderer Klassen aufgerufen und deren Daten verändert werden. Jeder Roboter, der vollständig auf einen Bin-Stapel gefahren ist, löst die Robotersteuerung aus, woraufhin ihre Routine gestartet und notwendige Reaktionen ausgeführt werden. Die Robotersteuerung ist somit eine Ansammlung an Funktionen. Diese sind unter anderen:

- die Aufgabenverwaltung
- das Deadlock-Handling
- die Koordination der Roboter

In der Aufgabenverwaltung werden die anstehenden Aufgaben der Roboter abgearbeitet, gespeichert, modifiziert und neue Aufgaben vom Auftragsmanagement angefordert. Es ist die Hauptfunktion der Klasse und somit das funktionelle Konstrukt, in deren Routine die anderen Aufgaben der Robotersteuerung eingebettet sind.

Das Deadlock-Handling reagiert, sobald ein Roboter in eine Richtung fahren möchte, jedoch die benötigten Felder blockiert werden. Nach jedem erneuten Versuch wird ca. 5 Sekunden vor dem nächsten gewartet. Die ersten

beiden Versuche erfolgen mit demselben Weg. Danach erfolgt eine Neuberechnung des Weges zum Zielknoten. Falls alle Versuche scheitern und somit kein Weg errechnet werden kann, wird der Roboter um bis zu drei Stapel in eine willkürliche Richtung versetzt. Hierbei reagiert jeder Roboter individuell. Diese Herangehensweise hat den Vorteil, dass die große Anzahl an Möglichkeiten unterschiedlicher Blockierungs-Kombinationen weder erfasst noch einzeln erarbeitet werden müssen.

Routing

Beim Routing wird aus einem Startpunkt und einem Zielpunkt die kürzeste Route auf dem Grid, basierend auf dem aktuellen Systemzustand, errechnet und die resultierenden Roboteraufgaben der Robotersteuerung zurückgegeben, welche diese im Rahmen der Aufgaben-Verwaltung abarbeitet.

Zur Berechnung der kürzesten Route für einen Roboter über das Grid beim aktuellen Systemzustand wurden der Dijkstra- und darauf aufbauend der A*-Algorithmus umgesetzt und modifiziert. Die Basis der Algorithmen ist ein gerichteter, kantengewichteter Graph, der aus dem aktuellen Systemzustand der Bin-Stapel resultiert. Hierbei hat jeder Knoten eine Gewichtung, die bei den Berechnungen der Kantengewichtungen zu diesem Knoten entspricht. Bei der Implementierung kamen zwei Modifikationen zum Einsatz.

Bei der ersten Modifikation wird der Richtungswechsel der Roboter in der Berechnung berücksichtigt. Dies ist ein relevanter Faktor, da der Richtungswechsel eines Roboters im realen System Zeit benötigt, das Ziel des

Routings jedoch darin besteht, den schnellsten Weg über das Grid zu finden.

Durch diesen Ansatz entsteht eine zweite Problematik, welche in Abbildung A3 illustriert ist. Beim Routing vom gelben zum grünen Knoten kann auf dem orangenen Knoten nicht zwischen dem blauen und dem roten Weg differenziert werden, wodurch nicht garantiert der schnellere, blaue Weg genutzt wird.

Daher erfolgt bei der zweiten Modifikation die Differenzierung der Gewichtung eines Knoten in ein vertikales und ein horizontales Eintreffen. Dies ist notwendig, um eine optimale Wegfindung zu garantieren, verdoppelt jedoch die Anzahl der Knoten und somit die benötigten Berechnungen bzw. die benötigte Rechenzeit.

Bei einer Verifikation dieser Modifikation der Algorithmen konnte bei Test-szenarien eine Leistungssteigerung des Lagersystems von bis zu 36 % nachgewiesen werden. Dies ist stark von der Größe des genutzten Lagersystems abhängig.

Die resultierenden Algorithmen wurden in einem externen Modul in der Programmiersprache C++ entwickelt. Dadurch wurde aufgrund der Programmiersprache und der fertigen Übersetzung in Maschinensprache ein Rechenzeitgewinn von bis zu 75% realisiert. Dieser Gewinn ist stark von den Dimensionen des zu simulierenden Lagersystems abhängig. Je größer das Lagersystem ist, desto mehr Rechenzeit wird benötigt und desto mehr Rechenzeitgewinn entsteht durch die Überführung.

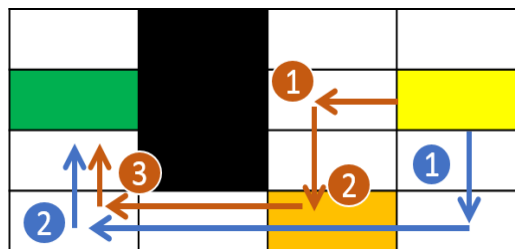


Abbildung A3 - Ursache für die Entwicklung der zweiten Modifikation

Das Hauptnetzwerk des Simulationsmodells ist in der Abbildung A4 dargestellt.

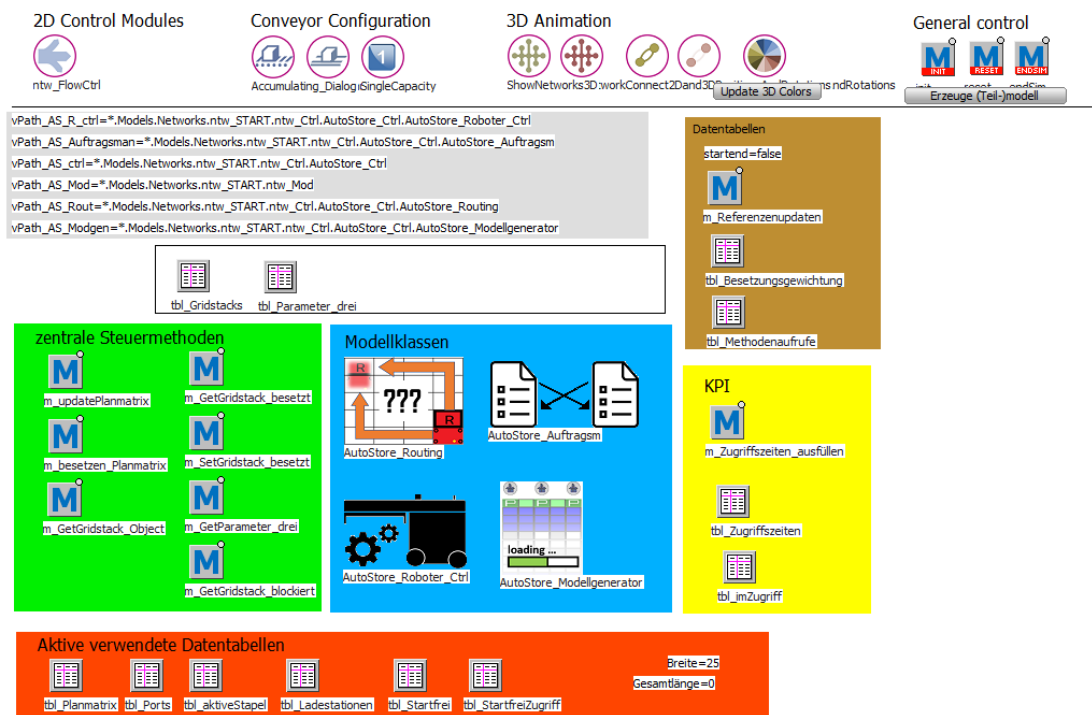


Abbildung A4 – Darstellung des Hauptnetzwerkes in PlantSimulation

Validierung des Simulationsmodells

Erwartungen an die Simulation

Ein Unternehmen mit einem AutoStore-Lagersystem stellt für die Validierung dieser Arbeit die Echtdaten zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die oben ausgeführten Vereinfachungen in der Vorbereitung getroffen. Aufgrund dieser Vereinfachungen sind prinzipiell Abweichungen zwischen Experiment und Realsystem zu erwarten. Weiterhin sind die Informationen zum Realsystem nicht vollständig. Wie weiter unten dargestellt, mussten Annahmen zur vergleichenden Simulation getroffen werden.

Der Hersteller des AutoStore-Lagersystems bietet als Entscheidungshilfe für seine Kunden die Simulation des konzeptionierten Systems an. Allerdings werden auch hier Annahmen

getroffen. Somit ist dabei von Abweichungen zwischen Simulation und Realsystem auszugehen. Somit weist eine Abweichung von 10-20% nicht auf ein fehlerhaftes Modell hin, sondern ist auf die getroffenen Vereinfachungen und Annahmen zurückzuführen.

Vorstellung des Referenzbeispiels

Das untersuchte AutoStore-Lagersystem nutzt bis zu 22 Roboter. Das Referenzbeispiel besitzt fünf Ports, welche für das Auslagern von Waren genutzt werden. Zwei zusätzliche Ports beschränken sich auf die Einlagerung von Waren. Alle Bedienhöhen der Ports für die Mitarbeiter befinden sich ca. 3,3m unter der Fahrebene der Roboter. Es wird ein Rechteck von 43 x 47 Behälterstapeln zum Lagern von Bins genutzt. In jedem Stapel sind bis zu fünf befüllte Behälter übereinander.

Zusätzlich zu den Systemkennwerten stellte das Unternehmen Echtzeiten der Auslagerungen über einen Zeitraum von 21 Tagen, sowie den Bestand des Lagers an einem Tag zur Verfügung.

Versuchsplanung

Es wird davon ausgegangen, dass, wie vom Hersteller empfohlen, 25 % der Behälterstapel einen Lagerplatz frei haben, um temporäre Speicherplätze für das Umstapeln zu schaffen. Zu den zur Verfügung gestellten Informationen gehört eine Liste der detaillierten Warenentnahmen über den gegebenen Zeitraum. Hierbei sind die Warenentnahmen nach Artikeln, Bin-ID und Ports differenzierbar. Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten der Zugriffe auf die unterschiedlichen Lagerplätze der Binstapel erfolgte eine Sortierung der Rohdaten nach den Bin-IDs, sowie eine Errechnung des prozentualen Zugriffsanteils jedes Bins.

Durch die Zuteilung dieser, nach dem Zugriffsanteil sortierten, Bins zu den Lagerplätzen jeder Stapelhöhe resultiert der Anteil der Warenaufnahmen, sortiert nach den Stapelhöhen. Diese repräsentieren die Zugriffswahrscheinlichkeiten, die im Referenzbeispiel bei mehr als 50% für die erste Ebene liegt.

Zusätzlich wurde die Umsetzzeit eines Roboters, also die Zeit, um die Richtung um 90 Grad zu wechseln, auf 0,7 Sekunden geschätzt. Als Bearbeitungszeit der Mitarbeiter am Port wurde eine Zeit von 13 Sekunden angegeben. Die Standardabweichung von diesem Wert wurde mit einer Sekunde angenommen.

Ergebnisse und Auswertung

Das durchgeführte Experiment des Referenzmodells berechnete innerhalb von 61 Minuten einen Simulationszeitraum von zwei Tagen. Dabei wurden insgesamt 31.379 Behälter an den Ports präsentiert, was durchschnittlich 131 Behälterpräsentationen pro Stunde pro Port entspricht. Hierbei wurden die Ports gleichmäßig bedient. Zwischen den Behälterpräsentationen lagen bei allen Ports im Mittel 14,5 Sekunden.

Auch bei den Robotern ist das Verhältnis über die Zeit ausgewogen. Die Summe der Zeitspannen, in welchen die Roboter ihre Batterien aufgeladen haben lag im Mittel bei 27,3 % der Gesamtzeit.

Das Ergebnis der Simulation weicht negativ um ca. 15 % von der realen Leistung des Systems ab.

Die Differenz kann durch unterschiedliche Faktoren verursacht werden. Zum einen sind die genauen Arbeitszeiten nicht bekannt und wurden daher auf 16 Stunden plus zwei Stunden Pause pro Tag geschätzt, was einen in dieser Branche üblichen Zwei-Schicht-Betriebes repräsentiert. Des Weiteren sind etwaige Optimierungen des realen Referenzbeispiels unbekannt, können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Ein Multi-Order-Picking, also das Bearbeiten mehrerer Aufträge zur gleichen Zeit an einem Port, würde in der Realität die Leistung eines Systems beeinflussen. Auch fiel bei der Analyse der vorhandenen Daten insbesondere ein Artikel auf, auf welchen oft zugegriffen wurde (1% der gesamten Warenezugriffe). Dieser würde im realen System vermutlich stets in der Nähe der Ports

platziert werden, um geringere Zugriffszeiten zu erlangen.

Als Resultat der Validierung hat das durch diese Arbeit erstellte Simulationsmodell die Erwartungen bei diesem Experiment erfüllt. Die Abweichung der Leistung sowie die Rechenzeit der Simulation liegen im erwarteten Rahmen.

Zusammenfassung und Ausblick

Das entwickelte Simulationsmodell, welches von Experten genutzt werden kann, kann für die Durchführung von Simulationsstudien eingesetzt werden. Damit können im Rahmen der Planung (Neuplanung oder Erweiterung) unterschiedliche Konfigurationen von AutoStore-Lagersystemen untersucht werden und eine gute Systemkonfiguration für den Anwendungsfall gefunden werden. Die Abbildung A5 stellt die 2D-Visualisierung des Systems dar. Zu erkennen ist die Belegungssituation der Schächte und der geplante Fahrweg der Roboter.

Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung des Simulationsmodells lag in einem funktionstüchtigen Grundmodell, das in Zukunft dem Bedarf entsprechend erweitert werden kann. Hierfür ist dieses modular aufgebaut, um eine große Flexibilität zu gewährleisten. Eine weitere Priorität lag auf der angemessenen Rechenzeit der mit diesem Modell durchführbaren Simulationsstudien. Um diese Bedingungen einzuhalten, wurde das Simulationsmodell im Implementierungsprozess kontinuierlich mithilfe unterschiedlicher Techniken validiert und verifiziert. Zusätzlich erfolgte die Überführung des

rechenintensiven Routings in eine externe Bibliothek, welche aufgrund ihres Aufbaus weniger Computerressourcen für die Berechnungen benötigt.

Um das Simulationsmodell präziser zu gestalten, könnten in den nächsten Schritten folgende Funktionen anhand von realen AutoStore-Systemen analysiert und daraufhin integriert werden;

- Die Integration von Auftragslisten, wodurch die Reihenfolge der Anlieferungen der Behälter an den Ports dynamischer gestaltbar wäre.
- Damit einhergehend könnte ein Multi-Order-Picking eingebunden werden, um mehrere Auftragslisten gleichzeitig an einem Port zu bearbeiten. Somit würden sich ebenfalls die Wartezeiten der Roboter vor den Ports reduzieren.
- Die Planung und Vergabe von Aufträgen nach Prioritäten und zeitlichen Schätzungen der Bearbeitungszeit. Dies könnte mithilfe einer Gewichtung der Kriterien realisiert werden.

Denkbare Verwendungszwecke, bei dem das Simulationsmodell zukünftig eingesetzt werden kann, sind:

- Das Aufdecken von Optimierungspotenzial eines existierenden AutoStore-Systems,
- die Verifikation von Erweiterungen eines existierenden AutoStore-Systems, sowie
- die Analyse unterschiedlicher Konstellationen bei der Konzeptionierung eines AutoStore-Systems.

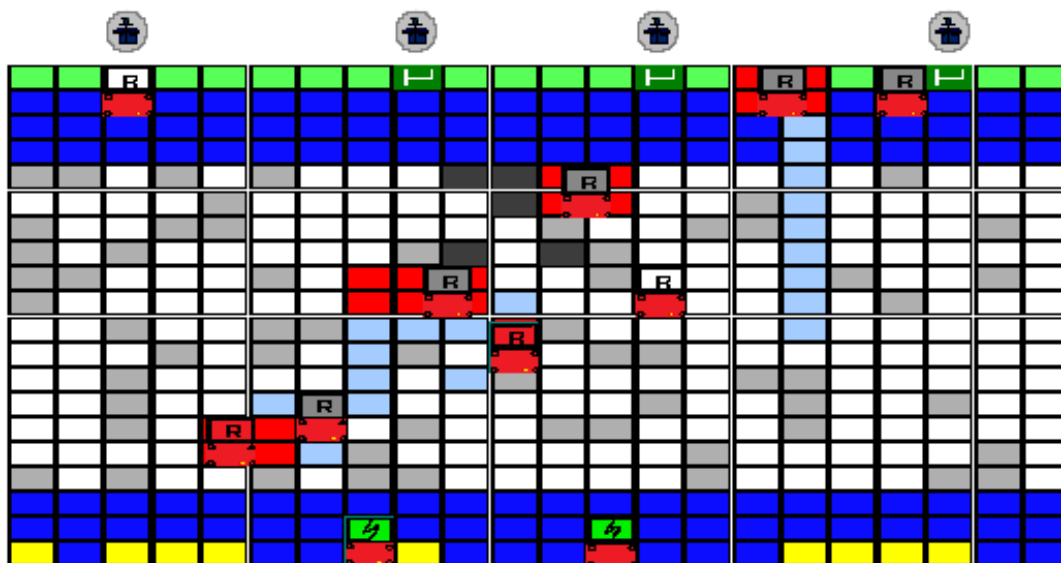


Abbildung A5 – Darstellung der 2D Visualisierung in PlantSimulation

Referenzen

- [1] Martin Christopher. "Logistics and supply chain management: Strategies for reducing costs and improving services". Pitman Publ, London, 1992.
- [2] Prof. Dr. G. Zellner. "Supply Chain Management." Vorlesungsskript SS 2019, Ostbayerische Technische Hochschule, Regensburg, 2019.
- [3] AutoStore AS. Autostore-Systeme, autostoresystem.com/de/systeme/, Aufruf: 29.07.2020
- [4] René de Koster, Tho Le-Duc, and Kees Jan Roodbergen. "Design and control of warehouse order picking: A literature review". European Journal of Operational Research, 182(2):481–501, 2007
- [5] Michael ten Hompel and Volker Heidenblut. "Taschenlexikon Logistik". Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [6] Thomas Lienert. "Methodik zur simulationsbasierten Durchsatzanalyse FTF-basierter Kommissioniersysteme". Dissertation, Technische Universität München, München, in Vorb.
- [7] C. M. Klein and J. KIM. "AGV dispatching". International Journal of Production Research, 34(1):95–110, 1996.
- [8] Wissensaustausch AutoStore D. Malik, 18.03.2020.
- [9] Peter Hart, Nils Nilsson, and Bertram Raphael. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths" IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 4(2):100–107, 1968.
- [10] R. W. Floyd. Algorithm 97: "Shortest Path" In "Communications of the ACM", (6):S. 345, 1962.
- [11] Richard Bellman. "On a routing problem" In "Quarterly of Applied Mathematics", 16(1):87–90, 1958.
- [12] Coffman E. G. JR., Elphick M.J., and Shoshani A. "System Deadlocks" In "Computing Surveys", (3):67–78, 05.1971.
- [13] Lehmann Matthias. "Einsatzplanung von Fahrerlosen Transportsystemen in Seehafen-Containerterminals" Dissertation, Technischen Universität Berlin, Berlin, Germany, 2006-10-01.
- [14] Michaela Beckschäfer, Simon Malberg, Kevin Tierney, and Christoph Weskamp. "Simulating Storage Policies for an Automated Grid-Based Warehouse System". In Tolga Bektas, Stefano Coniglio, Antonio Martinez-Sykora, and Stefan Voß, editors, "Computational logistics: 8th International Conference", ICCL 2017 Southampton, UK, October 18-20, 2017, volume 10572 of LNCS sublibrary: SL1 – "Theoretical computer science and general issues", pages 468–482. Springer, Cham, Switzerland, 2017.
- [15] C.K.M. Lee, Bingbing Lin, K.K.H. Ng, Yaqiong Lv, and W. C. Tai. "Smart robotic mobile fulfillment system with dynamic conflict-free strategies considering cyber-physical integration" In "Advanced Engineering Informatics", 42:100998, 2019.
- [16] Mustafa Güller and Tobias Hegmanns. "Simulation-based Performance Analysis of a Miniload Multishuttle Order Picking System" Procedia CIRP, 17:475–480, 2014.
- [17] H. Ford Dickie. "ABC Inventory Analysis Shoots for Dollars, not Pennies" In "Factory Management and Maintenance", volume 6, pages 92–94. 1961.

Anhang – Eingesetzter Fragebogen

Fragen zur Klassifizierung der Teilnehmer sind nicht dargestellt.

Zu Ihrem System

Ihr spezifisches AutoStore

Anzahl Behälterplätze	<input type="text"/>
Anzahl Roboter	<input type="text"/>
Anzahl Ports für Warenausgang	<input type="text"/>
Anzahl Ports für Wareneingang	<input type="text"/>
Anzahl Ports gesamt	<input type="text"/>
Anzahl der Behälter im gesamten System	<input type="text"/>
Anzahl der Ladestationen für Roboter	<input type="text"/>
Anzahl der Ebenen des Systems	<input type="text"/>
Gibt es bei Ihrem System Besonderheiten die Sie uns mitteilen möchten? (z.B. Erweiterungspläne, ERP Umstellung...)	<input type="text"/>

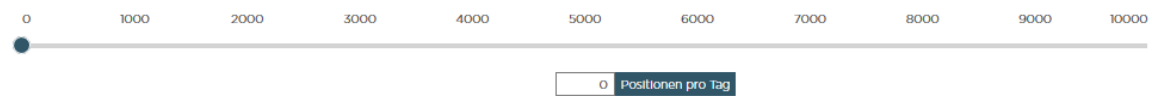
Anforderungen und Kenngrößen

Anzahl Stock Keeping Units (SKU)

Anzahl der Artikel(-nummern) im AutoStore System



Auftragspositionen pro Tag

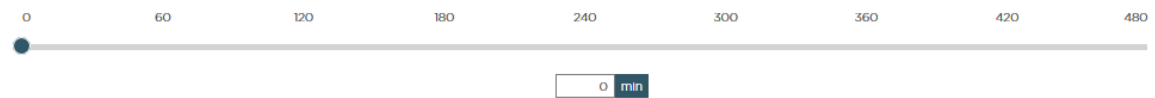


Betriebszeit

- 1 Schichtbetrieb
- 2 Schichtbetrieb
- 3 Schichtbetrieb

Auftragsvorlaufzeit

Wie viele Minuten vorher geben Sie in der Regel Aufträge für die Auslagerung frei, damit die zu einem Auftrag gehörenden Behälter ohne große Wartezeiten für den Kommissionierer an einem Port bereitgestellt werden können? (Auftragsvorbereitung durch Roboter)



Planung

Welche Systeme haben Sie zusätzlich noch zum AutoStore System in die Entscheidungsfindung mit einbezogen?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- AKL mit Regalbediengeräten
- Shuttlelager
- Manuelles Lager
- Tablarlager / Paternosterlager
- kein weiteres Lagersystem (AutoStore stand fest)
- Sonstiges

Auf welcher Grundlage/-n wurde ein Angebot erstellt?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Gespräche Hersteller
- Lastenheft
- Bereitstellung Auftragsdaten
- Planung Auftraggeber oder Auftragnehmer
- Sonstiges

Wie haben Sie einen Anbieter von AutoStore gefunden/ ausgewählt?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Messe
- Fachzeitsung
- Akquise durch Anbieter
- Empfehlung durch Geschäftspartner/ Freunde
- Internet
- Sonstiges

Was war/ist ausschlaggebend für die Wahl des AutoStore Systems?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Preis/Leistung
- Skalierbarkeit (Erweiterbarkeit hinsichtlich Lagerplätzen und Anzahl Roboter)
- Lagerdichte (hohe Raumausnutzung)
- Aufbauschnelligkeit während Betrieb/ Inbetriebnahmezeit
- Integration ins Gebäude (Flexibilität bei Layoutgestaltung)
- Geringe technische Fehleranfälligkeit
- Ökologische Bilanz/ Geringer Stromverbrauch und geringe Anschlussleistung
- Sonstiges

Bei welchen Anforderungen ist ein AutoStore System aus Ihrer Sicht nicht geeignet?

- Gewicht der Artikel (Behälter mit Artikel schwerer als 30kg)
- Abmessungen der Artikel (Länge, Breite, Höhe der Artikel führen zu geringen Füllmengen je Behälter)
- Gefahrgut
- Verfügbarkeit / Entstörung
- Brandschutz
- Durchsatz
- Integration in das Materialflusssystem (Behälter verlassen AutoStore-System)
- Ausnutzung Höhe
- Sequenzierungsanforderungen (Reihenfolge der Behälterauslagerung)
- spezielle Arteikeigenschaften; falls ja, welche
- Sonstige
- es gibt keine Gründe die gegen ein AutoStore System sprechen

Hatten Sie während der Planung Unterstützung durch Fachplaner?

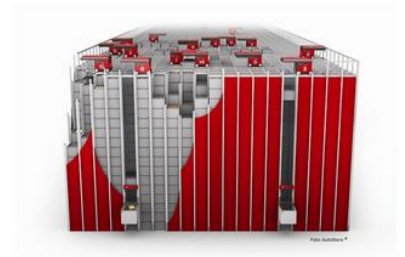
Ja

Nein

Wenn ja, in welchen Phasen wurden Sie vom Planer unterstützt?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Auswahl des Systems
- Vorplanung
- Grobplanung
- Feinplanung
- Durchgängige Beratung



Seite 2/4

Realisierung

Haben Sie vorher bereits andere Automatisierungserfahrungen im Bereich Logistik gemacht?

- Ja
 Nein

Falls ja, ist Ihr AutoStore in ein Materialflusssystem integriert

Besteht eine Anbindung zu anderen Bereichen mittels Fördertechnik. (Behälter verlassen ggf. das System)

- Ja (Zuführung oder Abtransport erfolgt über Fördertechnik. Dazu werden aber nicht die AutoStore Behälter genutzt)
 Ja (AutoStore Behälter verlassen System)
 Nein

Falls ja, haben Sie bereits ein anderes automatisches Lager in Nutzung?

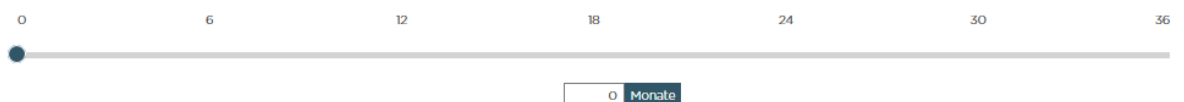
- Ja Nein

Um welches Lager handelt es sich ?

Bitte stichpunktartig beschreiben

Wie lange war/ist der Realisierungszeitraum für das AutoStore?

Ab der Vergabe an einen Lieferanten bis Inbetriebnahme



Montagezeit für das AutoStore System

Zeit auf Baustelle inklusive Inbetriebnahme

ca. 1 Monat

ca. 2 Monate

ca. 3 Monate

ca. 4 Monate

länger als 4 Monate

Gab es Komplikationen während der Projektierung?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

Schnittstelle Bau (z.B. Ebenheit des Bodens)

Aufbau und Montage

Nachträge (fehlende Systemumfänge)

Nicht genug Freiflächen für Behälterzwischenlager (Inbetriebnahme)

Brandschutz

Dauer der Befüllung des Lagers mit Behältern

unzulässige Behälter (außerhalb der Toleranzen)

Sonstiges

Nein

IT - Landschaft

Aus welchem System werden die Aufträge an den Materialflussrechner des AutoStore übergeben?

ERP, Name:

LVS, Name:

Wer hat Sie bei der IT- Realisierung unterstützt?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Distributionspartner/ Anbieter von AutoStore
- Externes IT- Unternehmen
- Generalunternehmer (nicht Anbieter AutoStore)
- Anderer AutoStore - Partner
- Eigene Regie/ Umsetzung
- Sonstiges

Wie lange dauerte die Systemanbindung (z.B. an das ERP)?

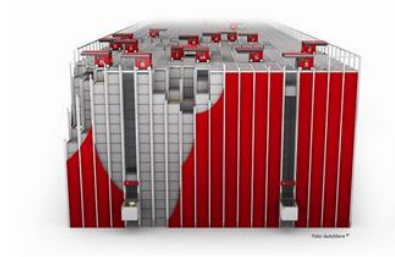
Damit ist der Realisierungszeitraum für die Anbindung der AutoStore-Steuerung an das überlagerte IT-System gemeint. (inkl. Lastenheft, Pflichtenheft, Test)

1 Monat 2 Monate 3 Monate 4 Monate 5 Monate Mehr als 5 Monate

Wurde im Rahmen des AutoStore - Projektes auch ein neues Lagerverwaltungssystem eingeführt?

Nein

Ja, Name der Software:



Seite 3/4

Sicherheitsrisiken bei AutoStore

Sind Sie der Meinung, dass es bei AutoStore Sicherheitsrisiken gibt?

- Ja
- Nein

Wenn ja, wo?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Über dem Grid (Roboter, Zugang)
- Bei den Ein/- Auslagerports
- Roboter könnten in Brand geraten
- Roboter könnten bei ruckartigen bremsen das Gleichgewicht verlieren
- Bei den Robotereingabestationen
- Sonstiges

Erfahrungen aus dem Betrieb

Was Fehler treten in Ihrem System am häufigsten auf?

Es sind auch mehrere Antworten möglich

- Mechanik (z.B Verschleiß oder Dauerbelastungsbrüche)
- IT (z.B Gestörte Kommunikation oder Steuerungsausfälle)
- Mensch (z.B Fehler bei der Kommissionierung)
- Material (z.B durch Verschleiß oder Fehlkonstruktionen)
- Aktorik und Sensorik (z.B durch Verschmutzung oder Störungen durch Lichteinfall)
- Sonstiges

- keine nennenswerten Fehlfunktionen

Zufriedenheit nach Schulnoten

Wie zufrieden sind Sie allgemein mit Ihrem System?

Benotung nach Schulnoten

1

2

3

4

5

6

Welche Note geben Sie der Bedienbarkeit?

Einbindung in das ERP, Steuerung über LVS, Bedienung der Ports usw.

1

2

3

4

5

6

Wie zufrieden sind Sie bei Servicefragen oder Serviceanforderungen?

Schnelle Reaktion bei Problemen oder Fragen der Distributoren oder AutoStore selbst

1

2

3

4

5

6

Welche Bewertung bekommt die technische Verfügbarkeit des AutoStore Systems von Ihnen?

Benotung nach Schulnoten

1

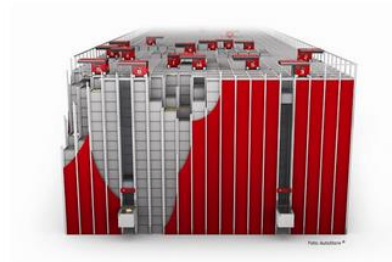
2

3

4

5

6



Seite 4/4

**Auf was geachtet werden sollte - Ihre eigene Meinung
ist gefragt!**

Hinweis: Antworten hier sind optional, dienen jedoch einer noch genaueren Auswertung!

Planungsphase

Bitte kurz und in Stichpunkten

Realisierung

Bitte kurz und in Stichpunkten

Inbetriebnahme und Übergabe

Bitte kurz und in Stichpunkten

Retrofit und Instandhaltung

Bitte kurz und in Stichpunkten

Sonstiges

Bitte kurz und in Stichpunkten

Abschließende Einschätzung unterschiedlicher Lagersysteme

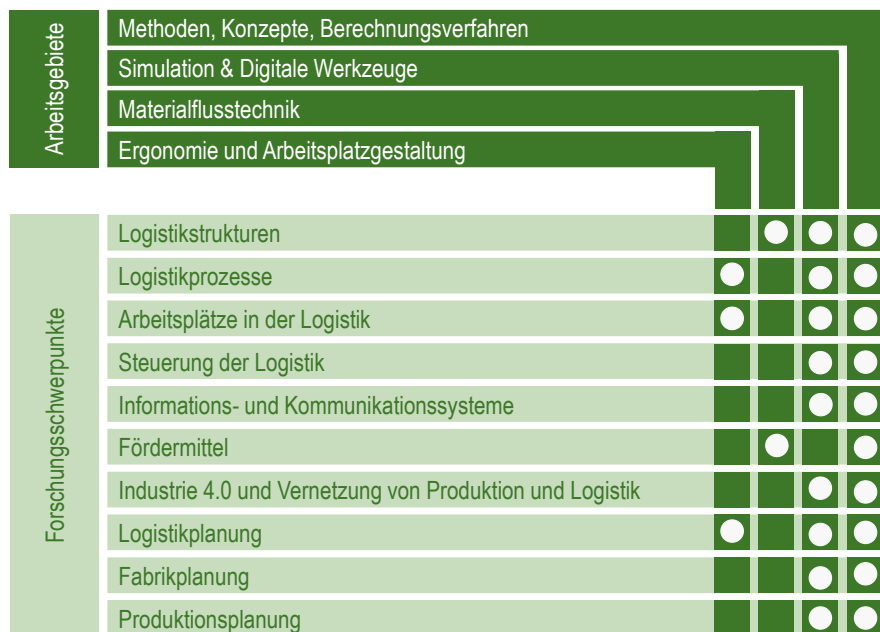
Ihr persönliches Ranking

Welches der nachfolgend aufgezählten Kleinteilelagersysteme wird in den kommenden 15 - 20 Jahren am häufigsten realisiert. Treffen Sie bitte Ihre persönliche Einschätzung und klicken Sie die Systeme nacheinander an (von 1 [häufigstes System] nach 5)

AutoStore
AKL mit RBG
Shuttlesystem
Paternoster/Shuttle
Manuelles Lager

Forschungsprofil Prof. Stefan Galka

Die Professur für Materialflusstechnik und Fabriksimulation an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg deckt ein breites Feld im Bereich der Logistik und Produktion ab. In der folgenden Abbildung sind die Arbeitsgebiete und Forschungsschwerpunkte von Prof. Stefan Galka dargestellt.



Die OTH Regensburg versteht sich als forschungsaffine Technische Hochschule. Ergebnisse aus den Forschungsprojekten sollen bei der Sicherung des Standortes Deutschland bzw. Europa helfen. Wenn Sie Interesse an einer Forschungskooperation haben, kontaktieren Sie uns bitte.

Industriennahe Forschungsdienstleistungen

Weiterhin unterstützen wir gerne Unternehmen bei der Durchführung von forschungsnahen Projekten. Diese Dienstleistungen umfassen folgende Punkte:

- Konzept und Systementwicklungen im Bereich Logistik,
- Logistikplanung und Potenzialanalysen,
- Simulation von Logistik- und Produktionsprozessen,
- Neuartige Datenanalysen (Process Mining, Prognosen, etc.),
- Entwicklung von Softwaretools im Bereich Logistik- und Produktionsplanung und IoT-Integration,
- Erstellung von Forschungsanträgen und Suche nach geeigneten Fördermöglichkeiten und
- Gutachten für Materialflusssysteme und Unterstützung bei der Abnahme von Logistik- und Produktionssystemen.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an stefan.galka@oth-regensburg.de ;
Telefon (0941) 943-5162

