

PLANUNG UND EINSATZ VON HOCHREGALLAGERN IN
INDUSTRIE UND HANDEL



Horst THEML, tit.

ist Leiter der Abteilung Förder- und Lagerwesen im Fachgebiet Industrieausrüstungen der AEG-Telefunken, Frankfurt a. M. und in diesem Bereich mit der Systemplanung und Ausführung schlüsselfertiger Anlagen beauftragt.

Der Verfasser ist Mitglied in den VDI-Ausschüssen "Material- und Datenfluß in automatisierten Hochregallagern" und Mitglied des VDI-Beirates Materialfluß und Fördertechnik.

Einführung:

Moderne Lager werden in zunehmendem Maße Knotenpunkt für Warenströme.

"Lagern", allgemein als das Aufbewahren eines ruhenden Bestandes verstanden, und damit bisher als statische Funktion definiert, wandelt sich heute mehr und mehr von der statischen zu einer dynamischen Funktion: dem Umschlagen, wobei diese Funktion auch das "Lagern" miteinschließt. Dies bringt zwangsläufig mit sich, daß das dynamische Lager investitionsintensiv ist, während bisherige Lager lohnintensiv waren. Die Lager, die den heutigen Anforderungen an einen rationellen, kostengünstigen Umschlag der Waren genügen sollen, werden zum funktionellen Gesamtsystem. Sie sind industrielle Bauvorhaben, vergleichbar mit Kraftwerksbauten. Die Planungsmethoden müssen sich den neuen Gegebenheiten anpassen, d. h.: Die früher in ihrer Bedeutung überwiegende Bau- und Mechanikplanung muß der ganzheitlichen Systemplanung weichen.

1. Lager - Prinzipien

Es gilt, drei Lagerprinzipien zu unterscheiden: das Block- oder Freistapellager, das Durchlaufregallager und das Hochregallager. Auf Umlauf- und Verschieberegalanlagen, die für Spezialaufgaben eingesetzt werden, wird hier nicht näher eingegangen.

Das Block- oder Freistapellager ist die althergebrachte, sehr lohnintensive

Form des Warenlagers. Bedient werden diese Lager manuell bzw. durch Gabelstapler. Die Stapel- und Lagerhöhe ist begrenzt. Dadurch ist ein großer Flächenbedarf erforderlich und der Lagernutzungsgrad niedrig.

Das Durchlaufregallager besteht aus Durchlaufkanälen, die entweder als Schwerkraftbahnen oder angetriebene Rollenbahnen ausgeführt sind. Das Beschicken des Durchlaufregals erfolgt durch Gabelstapler oder Regalförderzeuge von der Rückseite, die Entnahme manuell oder automatisch, von der Frontseite. Diese Lagerform hat einen hohen Nutzungsgrad, ist aber nicht universell einsetzbar.

Das Hochregallager hat durch die universellen Einsatzmöglichkeiten in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Man nützt hierbei die dritte Dimension aus, wobei die Bebauungsfläche eines Grundstückes optimal genutzt werden kann.

Die Beschickung und Entnahme der Regale erfolgt durch Regalförderzeuge. Diese lassen eine stufenweise ausbaubare Automatisierung zu, und ermöglichen dadurch eine erhebliche Senkung der Personal- und Betriebskosten.

Bei der Auswahl eines für einen bestimmten Anwendungsfall geeigneten Lagerprinzips, sind u.a. folgende Fragen zu stellen:

- Ist eine Vereinheitlichung der Lagereinheit möglich?
- Ist eine freie Belegbarkeit des Lagers gewünscht?
- Ist wahlfreier Zugriff zu jeder Lagereinheit und in welcher Zeit zu fordern?
- Ist das Prinzip first in / first out und andere Einschränkungen einzuhalten?
- Wie muß die Kommissionierung erfolgen?
- Welcher Automatisierungsgrad wird gefordert?
- Welche räumliche Prämissen, z.B. Grundstücksfläche, Bebauungshöhe sind vorgegeben?

Bei einer kritischen Betrachtung der Lagerprinzipien wird deutlich, daß das Hochregallager sich am universellsten einsetzen läßt.

2. Das Lagern als System

Heute erfaßt eine Lagerplanung kaum mehr ausschließlich das Lager allein. Die Planung greift in den Bereich der Organisation, der Fertigung, der Warenlieferung, der Warenverteilung und in den Versand ein. Durch den hohen Mechanisierungs- und teilweise auch hohen Automatisierungsgrad der Lager und die Verzahnung mit Anlieferung und Verteilung wird das Lager zu einem komplexen System, das aus folgenden Komponenten besteht:

- Bau
- Stahlbau
- Maschinenbau
- Elektrik
- Datenverarbeitung
- Prozeßdatenverarbeitung
und nicht zuletzt
- Software
und
- Organisation.

Es gilt, diese Komponenten durch eine sinnvolle Planung optimal zu verbinden. Das bedeutet, daß derartige Planungen von einem Team von Spezialisten aus den einzelnen Aufgabengebieten durchgeführt werden müssen, wobei zu beachten ist, daß keine der oben angeführten Systemkomponenten die Ausgewogenheit des Gesamtsystems stört.

3. Funktionen, Aufgaben und Ausführung eines Hochregallagers

Das Hochregallager hat im wesentlichen drei Hauptfunktionsabschnitte:

- Wareneingang
- Lager mit Nebenlager
- Warenausgang mit Kommissionierung

Ein Lager ist umso umschlagsintensiver und dynamischer, je stärker die fördertechnisch betonten Funktionsabschnitte - Wareneingang und Warenausgang - ausgebildet sind. Im Sinne der systemtechnischen Optimierung des

Material- und Informationsflusses gilt es, alle Abschnitte nahtlos zu einem Gesamtsystem zusammenzufügen.

Bei automatischem Betrieb eines Lagers müssen sehr hohe Anforderungen an die Betriebssicherheit des Gesamtsystems gestellt werden. Durch ein geeignetes Vorgehen bei der Planung und Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse, vor allem im Bereich der Antriebs- und Steuerungstechnik, sowie der Prozeßdatenverarbeitung, lassen sich die Ausfälle mit wirtschaftlichem Aufwand in vertretbaren Grenzen halten. Im weiteren soll auf die einzelnen Funktionsabschnitte, ihre Aufgaben und die Anforderungen an die Bau- und Gerätetechnik, eingegangen werden.

3.1. Der Regalkörper

- Funktion:

Die funktionelle Ausführung des Regals ist bestimmt von der Bedienung des Regallagers und den für Ein- und Auslagerung vorgesehenen Fördermitteln. Prinzipiell kann das Lager in einer oder in mehreren Etagen und von einer oder von beiden Seiten bedient werden. Seitens der Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems werden strenge Anforderungen an die Genauigkeit der Regalausführung gestellt. Je nach Automatisierungsstufe, Positioniersystem und Regalkonstruktion schwanken diese Toleranzen ohne äußere Kräfte zwischen +5 und 20 mm, bezogen auf jedes Regalfach. Diese Toleranzwerte sind bei allen Lastverhältnissen einzuhalten.

- Konstruktion und Ausführung

Ein Hochregallager besteht aus selbsttragenden, freistehenden Regalen, die in Stahl- oder Betonkonstruktion ausgeführt sein können. Die Ausführung hängt im wesentlichen von den Anforderungen des Bauherrn, der Behörden, des zu lagernden Gutes und nicht zuletzt von den Kosten ab.

Eine Ganzstahlkonstruktion ist anpassungsfähig an jeden Belastungs- und Ausführungsfall. Sie wird heute bei kleineren bis mittelgroßen Bauten vorrangig eingesetzt.

Betonregale werden aus Fertigbau-Elementen oder durch Ortbeton in Gleitschalungsbauweise hergestellt. Gegenüber den Stahlprofilregalen ist mit höheren Investitionen zu rechnen; diese werden jedoch durch die Widerstandsfähigkeit gegen Feuer und Korrosion und durch Wartungsfreiheit aufgehoben. Vielfach wird auch die Kombination Stahl-/Betonregal eingesetzt, was die Vorteile beider Baustoffe wirtschaftlich vereint. Die Regalkonstruktion ist normalerweise so ausgelegt, daß sie als Baukörper dient und die Dach- und Wandverkleidung sowie erforderliche Einrichtungen für Be- und Entlüftung, Heizung und Feuerschutzanlagen aufnimmt. Hochregallager werden heute in Höhen bis zu 40 m und in Längen bis zu 160 m und mehr gebaut. Die maximalen Lagergrößen liegen bei etwa 50.000 Lagerplatzpositionen, in der Planung sind jedoch bereits Lager bis zu 100.000 Positionen. Die Lagereinheiten, Paletten, Behälter oder Gestelle werden in den durch die Regalkonstruktionen gebildeten Fachpositionen abgesetzt. Die Durchschnittsgewichte je Lagereinheit betragen 0,5 bis 1,5 Tonnen, in Sonderfällen 3 bis 4 Tonnen.

- Fundamentplatte

Für den störungsfreien Betrieb eines Lagers, vor allem bei Automatikbetrieb, ist die Genauigkeit der Regalkonstruktion bei allen Belastungszuständen von entscheidender Bedeutung. Die zu fordernden Regaltoleranzen, ohne äußere Kräfte, liegen bei Stahlkonstruktionen bei ± 5 bis 10 mm, bei Betonkonstruktionen bei 10 bis 20 mm bezogen auf jedes Regalfach und die gesamte Länge bzw. Höhe. Um diese Toleranzwerte einzuhalten, werden bestimmte Anforderungen an die Berechnung und Ausführung der Fundamentplatte und ihrer Gründung gestellt. Setzungen, insbesondere partielle Setzungen der Fundamentplatte, müssen in den vom Systemlieferanten zu definierenden Grenzen gehalten werden. Vor Beginn einer Lagerplanung muß man daher durch Untersuchung der Tragfähigkeit des Untergrundes - ggf. unter Einschaltung von Sachverständigen - die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Gründung und damit Lagerausführung schaffen.

- Nebeneinrichtungen

Veranlaßt durch verschiedene Großbrände der letzten Jahre in Industrieanlagen stellen heute Versicherungen und Feuerwehr an Hochregallager, insbesondere an die Regalkonstruktion, erhöhte Forderungen. Diese betreffen

den feuerhemmenden Anstrich der Stahlkonstruktion, die Ausbildung der Außenwände zu angrenzenden Gebäuden und die Einteilung des Lagers in Brandabschnitte. Je nach Art der zu lagernden Güter und nach den Versicherungsbedingungen variieren diese Forderungen. Sie können im Extremfall zu freistehenden Außenbrandmauern in Ausführung F 90 und Betonregalkonstruktionen führen, die jede Lagergasse in einen Brandabschnitt teilen.

Der Einbau einer Sprinkleranlage ist heute nahezu Standardforderung. Vielfach werden zusätzlich Rauchmeldeanlagen installiert.

Für den Rauchabzug werden Rauchschutzklappen, die durchschnittlich bis 3 % der Grundflächen ausmachen, gefordert. Die Ausbildung des Daches und der Wandverkleidung hängt neben Umweltfaktoren und architektonischen Forderungen auch von der Art des zu lagernden Gutes ab. Wenn das Gut nur bestimmte Temperaturtoleranzen zuläßt, müssen auch entsprechende Isolationsmaßnahmen getroffen werden. Die Werte für K liegen dann bei $0,8 \frac{\text{kcal}}{\text{C} \times \text{m}^2 \times \text{h}}$ und werden durch Isolation der Wände mittels Wärmedämmmitteln (Kieselgur, Schlackenwolle und Mineralfaserplatten u. a.) realisiert.

Damit verbunden ist auch die Frage der Beheizung, sowie der Be- und Entlüftung und evtl. Klimatisierung eines Lagers. Die Beheizung oder Klimatisierung solcher Lager ist abhängig vom Lagergut. Ein einfacher Luftwechsel bei vollautomatischen, ein dreifacher bei manuellem Betrieb sind gute Erfahrungswerte.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß die Regalkonstruktion für Wartungs- und Notfälle bis zum Dach zugänglich sein muß. Geeignete Steigleitern, Wartungsplattformen und Zugangstüren sind auch bei automatischen Lagern eine unbedingt einzuhaltende Forderung.

3.2. Regalförderzeuge (RFZ)

Die Aufnahme der Last und das Anfahren der Regalfachpositionen wird durch Regalförderzeuge (RFZ) vorgenommen. Die Konstruktion des RFZ ist je nach Lagerhöhe, Lastverhältnissen und Hersteller eine Ein- oder Zweimastausführung in Gitter- oder Vollmastkonstruktion. Konstruktiv muß jedes RFZ so ausgeführt sein, daß bei allen Last-, Beschleunigungs- und Bremszuständen definierte Auslenkungen des Mastes im Ruhestand, bezogen auf jedes Regalfach, nicht überschritten werden.

Als Lastaufnahmemittel dient ein beidseitig ausfahrbarer Hubtisch mit einer Teleskopeinrichtung für ein oder mehrere Lagereinheiten. Die Lagereinheit bewegt sich gleichzeitig in Fahr- und Hubrichtung, was kürzeste Fahrzeiten sicherstellt. Derzeit liegen die maximalen RFZ-Fahrtgeschwindigkeiten bei 200 m/min und bei Hubgeschwindigkeit von 40 bis 60 m/min. Die Lagereinheit wird in einer Aufgriffstation am Anfang der Gasse aufgenommen und einer vorgegebenen Fachposition zugefördert. Dort fördert der Teleskoptisch die Lagereinheit aus der Gasse in die Regalposition und setzt die Last im Fach ab. Meistens nimmt das RFZ danach aus einer anderen Fachposition gleich wieder eine Lagereinheit auf und lagert diese an der Absetzstation am Gassenanfang aus. Je nach Regalabmessungen, Lagergut und Auslegung der Antriebe und Steuerung können 20 bis 30 Doppelspiele (kombinierte Ein- und Auslagerungen) pro Stunde und RFZ erreicht werden.

Der Antrieb des Fahr- und Hubwerkes muß so ausgeführt sein, daß das 10 bis 40 to schwere RFZ ruckfrei und in kürzester Zeit beschleunigen bzw. bremsen kann. In den meisten Fällen sind daher geregelte Gleichstromantriebe erforderlich. Die Bedienung dieser Antriebe erfolgt über eine Handsteuerung vom RFZ aus in der am Hubtisch vorgesehenen Kabine. Sollen die Fachpositionen automatisch angefahren werden, so ist außerdem eine Fachpositionierung in Fahr-(x) und Hubrichtung (y) erforderlich. Diese erfolgt nach digital- absoluter Methode, d. h. jede x- und y-Koordinate ist durch eine absolute Position gekennzeichnet. Realisiert wird diese Positionierung durch eine elektronische Steuerung. Die Datenausgabe erfolgt vom Gassenanfang aus durch ein Eingabepult am RFZ. Sollen mehrere Gassen von einer zentralen Stelle aus gesteuert werden, so ist der Einsatz einer zentralen Lochkartensteuerung oder in der höchsten Automatisierungsstufe ein Prozeßrechnersystem erforderlich. Diese zentralen Informations- und Steuerungssysteme steuern und überwachen dann den gesamten Lagerablauf, ggf. einschließlich der Anlieferung und des Versandes der Waren, die Lagerbestandsführung und die Dokumentenerstellung. Jedoch sollte jede höhere Automatisierungsstufe, aus Gründen der Sicherheit, die unteren einschließen, d. h. ein rechnergesteuertes Lager sollte auch im Hand- und Halbausführungsbetrieb bedienbar sein.

3. 3 Wareneingang

Der Wareneingang ist meist der systemtechnisch schwierigste Teil eines

Gesamtlagers und hat folgende Funktionen:

- Eingehende Waren hinsichtlich Identität, Stückzahl und Qualität zu prüfen
- gelieferte Ware mit den Bestelldaten zu vergleichen
- Bildung der Lagereinheiten (Palettierung, Füllen von Behältern)
- Erstellung der Identitätskarten je Lagereinheit
- Bestimmung der Lagerposition für die gebildete Lagereinheit aus einer Leerfachliste
- Zuführen der Lagereinheit über den Lagereingangsförderer zur jeweiligen, vorbestimmten, Aufgriffsstation einer Lagergasse

Die Ausrüstung eines Wareneinganges hängt von den Erfordernissen, den Umschlagsleistungen und den Lagereinheiten einschließlich ihrer Träger ab.

Der erforderliche Flächenbedarf eines Wareneinganges wird entscheidend von der Entlade- und Abfertigungsmethode bestimmt. Fördertechnische Einrichtungen, die das Fließen eines einzulagernden Gutes gewährleisten und damit die Abfertigungszeit in diesem Bereich beschleunigen, tragen wesentlich zur Senkung der Betriebskosten bei.

Solche Lagereingangsförderer, meistens ein Palettenfördersystem, verbinden die Zone der Lagereinheitsbildung mit dem eigentlichen Lager.

Ihre Aufgabe ist es, Puffer und Verteiler zu sein zwischen dem zeitweisen Stoßbetrieb im Wareneingang und dem kontinuierlichen Betrieb des Lagers. Bei Automatikbetrieb erfolgt hier vor dem Einlagern in das Hochregallager eine Eingabe der Identitätskarten in das Steuerungssystem. Damit wird jeder Lagereinheit eine Fachposition im Lager zugeordnet.

3.4. Warenausgang mit Kommissionierung

Im Warenausgang erfolgt eine Zusammenstellung von Lagergütern zur Bildung von Versandeinheiten und die Verteilung der Versandeinheiten auf die Versandbereitstellungen bzw. Versandrampen.

Bei den meisten Lagerproblemen liegt eine Kommissionieraufgabe vor. Zu unterscheiden gilt es hierbei, ob ganze Lagereinheiten zu einer Versandladung zusammengestellt, oder ob eine Vereinzelnung von Lagereinheiten und die Bildung neuer Versandeinheiten vorgenommen werden muß. Bezogen

auf den Wareneingang und Warenausgang läßt sich generell sagen, daß für den Transport und die Verteilung der Güter entsprechend den funktio- nellen Anforderungen zunehmend z. T. komplizierte fördertechnische Ein- richtungen eingesetzt werden. Meistens haben diese bei einem hohen Auto- matisierungsgrad Aufgaben des zielgesteuerten Warentransportes, der automatisierten Kommissionierung und Programmsteuerung zu erfüllen.

Die Funktion, Ausführung und Linienführung dieser Einrichtungen bestim- men daher in hohem Maße die Planung, Ausführung und das Volumen der Umbauten eines Hochregallagers.

4. Planungsvorgehen

Das Lager als komplexes System erfordert Planungstechniken, die im Be- reich des Förderns und Lagerns seither nur vereinzelt angewandt wurden. Auch in der Lagertechnik werden sich jedoch in Zukunft - wie im Kraft- werksbau und anderen speziellen Industriebauten - die Methoden der Systemplanung durchsetzen. Die Planung eines Lagers erfordert zunächst eine Systemanalyse und darauf aufbauend eine Systemplanung und einen System- und Materialflußentwurf. Dieser noch von jeder Gerätetechnik freie Entwurf wird dann mit der für den jeweiligen Aufgabenfall spezifischen Gerätetechnik der Mechanik, d. h. der Förder- und Lagertechnik, der Elektrik und Datenverarbeitung unterlegt. Die Frage der Organisation, die in alle diese Bereiche hineingreift, ist eng verbunden mit dem In- formationsfluß im gesamten Bereich. Der Architekt und die Bauplanung hat dann im nächsten Planungsschritt die Aufgabe, die Funktionshülle um ein entworfenes Funktionssystem zu konzipieren und dieses entsprechend zu gestalten. Dabei sollte nach dem Grundsatz: "Die Form folgt der Funktion" gehandelt werden. Dies zwingt den Architekten und Bauingenieur zu früher und enger Teamarbeit mit den übrigen am Projekt mitwirkenden Spezialisten. Bei derartigen Planungen gewinnt ein neuer Typ von Ingenieur, der Systemingenieur, zunehmend an Bedeutung.

Dieser hat die Aufgabe, das Gesamtsystem zu analysieren, einen Entwurf zu gestalten und im Rahmen der Planung und Ausführung der Koordinator der einzelnen Spezialisten zu sein. Das Ziel muß dabei sein, ein optimales Gesamtsystem in Bezug auf seine Wirtschaftlichkeit, seine technisch-orga- nisatorische Lösbarkeit und seine Betriebssicherheit auch im Hinblick auf

gestellte Termine und Kosten zu schaffen. Aus der Sicht des Anwenders hat der Systemingenieur dafür zu sorgen, daß für die gestellte Aufgabe ein funktionsfähiges Gesamtsystem erstellt und dem Kunden nach Überprüfung der Leistung übergeben wird. Aus diesen Überlegungen heraus werden heute in den meisten Fällen komplexe Lagerausführungen an eine Firma als Generalunternehmer für den Bau-, Einrichtungs- und Automatisierungsteil vergeben. Der Generalunternehmer hat im Rahmen des Auftrages die einzelnen Lieferungen und Leistungen mit den Erfordernissen des Systems und den Kundenforderungen zu koordinieren. Er muß dabei gegebenenfalls die Funktionsgarantie für das Gesamtsystem leisten. Generalunternehmer kann jedoch nur die Firma sein, die in der Lage ist, die funktionsentscheidenden Untersysteme zu beurteilen, ihre Gestaltung zu beeinflussen und ihre Funktion zu garantieren.

Zusammenfassung

Es sollte in diesem Aufsatz folgendes herausgestellt werden:

- die Hochregallager haben bereits einen für alle Bereiche der Industrie, des Handels und der Dienstleistungsbetriebe zufriedenstellenden Entwicklungsstand erreicht.
- Planung und Ausführung solcher Lager sind komplexen Industriebauten gleichzusetzen und erfordern die enge Zusammenarbeit aller Spezialisten.
- Der Bau hat sich an das funktionelle System anzupassen.
- Systemplanung und Koordinierung aller Aktivitäten sollten in der Hand des Systemingenieurs liegen.
- Die Projektausführung wird in zunehmendem Maße von einem Generalunternehmer für Bau - Mechanik - Elektrik - Automatisierung vorgenommen.