

Dr.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. Günthner

Aufbau und Einsatz des automatischen Tunnellagersystems

Design and Use of the Automatic Tunnel Warehouse System

In vielen Industriezweigen sind oft große Mengen von palettierten Stückgütern bei relativ geringer Artikelanzahl und hohen Umschlagsleistungen zu lagern. Wegen der hohen Anzahl gleicher Ladeeinheiten pro Artikel ist meist ein Lagersystem mit sequentiellem Zugriff zur einzelnen Ladeeinheit ausreichend. Neben dem statischen Blocklager wird dafür heute vorwiegend das Durchlaufregallager verwendet. Als eine wirtschaftliche Alternative für monostrukturierte Lager bietet sich auch das automatische Tunnellagersystem an. Dabei wird die Ladeeinheit mit einer Lagerfronttransporteinrichtung zum gewünschten Lagerkanal gebracht und mit sogenannten Kanalfahrzeugen auf den Fahr- und Lagerschienen der Regalkonstruktion abgesetzt. Mit diesem Lagersystem lassen sich die Vorteile der hohen Raumnutzung von Blocklagern und eines hohen Automatisierungsgrades von Hochregallagern vereinen.

Lagersystematik, Nomenklatur

Im Laufe der technischen Entwicklung wurden für das automatische Tunnellagersystem verschiedene Bezeichnungen eingeführt. Je nach Hersteller wird das Lagersystem als Satellitenlager, automatisches Hochregal-Blocklager-System, Tunnellager mit Dolly, KETMAT oder Krabbelwagen bezeichnet.

Nach der gebräuchlichen Lagersystematik (Bild 1) handelt es sich beim automatischen Tunnellagersystem um ein dynamisches Lager mit Lagergestell, wobei das Lagergut im feststehenden Lagergestell bewegt wird. Der Materialfluß im Lagerkanal wird durch besonders flache Kanalfahrzeuge realisiert, die unter den Paletten durchfahren und diese von der Einlagerungs- zur Auslagerungsseite transportieren können. Davon zu unterscheiden sind Durchlaufregale mit Schwerkraft- oder Fördermittelantrieb [1 bis 3].

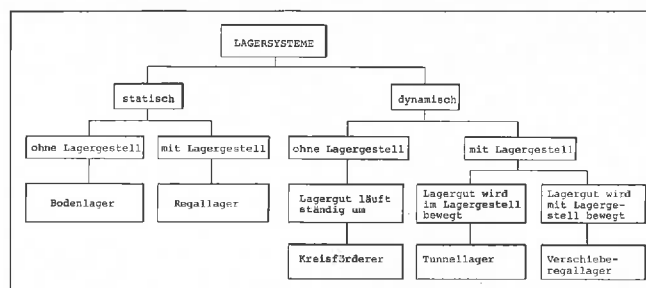
Systembeschreibung

Der Regalblock des automatischen Tunnellagersystems besteht aus mehreren nebeneinander und übereinander liegenden Lagerkanälen. Die Versorgung der einzelnen Lagerebenen übernimmt ein Etagenförderer, der die Paletten nach Einlauf in den Lagerbereich und Identifikation in die vorgesehene Lagerebene transportiert. Die Palette wird von einem sogenannten Kanalfahrzeug (KFZ) übernommen und mit einem Verteilwagen (VW) vor den entsprechenden Lagerkanal transportiert. Das KFZ fährt mit angehobener Plattform in den Lagerkanal ein und setzt die Palette am vorgegebenen Stellplatz auf den Fahr- und Lagerschienen der Regalkonstruktion ab (Bild 2). Mit abgesenkter Plattform fährt das KFZ unter der Palette zurück zum Verteilwagen und steht für einen neuen Einlagervorgang bereit. Der Auslagervorgang geschieht in umgekehrter Reihenfolge, wobei dann die Palette das automatische Lagersystem über den K-Punkt verläßt. Bild 3 zeigt den Verteilwagen mit eingefahrenem Kanalfahrzeug. Das rechts im Bild sichtbare Steuerpult beinhaltet die Funktionen zur manuellen Ver- und Entsorgung der Lagerkanäle im Notbetrieb, der links montierte Schaltschrank beinhaltet die PLC-Antriebssteuerung.

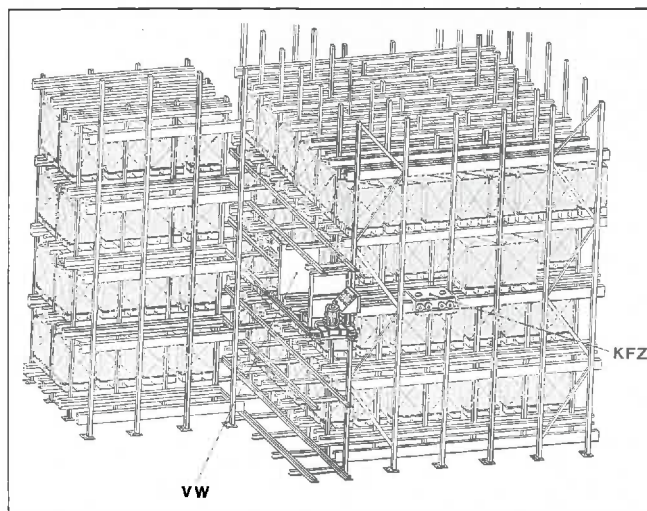
Planungsvarianten

Während des Verteilvorgangs innerhalb der einzelnen Lagerebenen mit Verteilwagen und Kanalfahrzeug kann der Etagenförderer die Ver- und Entsorgung anderer Lagerebenen durchführen. Dank der Entkoppelung der vertikalen und horizontalen Transportvorgänge lassen sich mit schnellen Aufzügen sehr hohe Umschlagleistungen erzielen (Bild 4a).

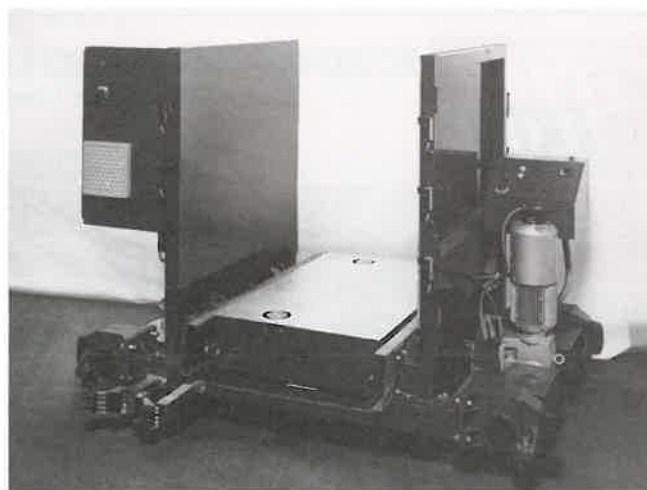
Sind die geforderten Umschlagleistungen geringer, kann das Kanal-



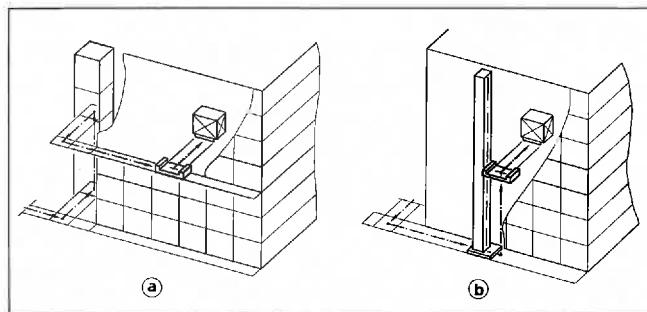
1: Einordnung in die Lagersystematik.
Classification into the warehouse systematology



2: Automatisches Tunnellagersystem mit Verteilwagen (VW) und Kanalfahrzeug (KFZ). Automatic tunnel warehouse system with transfer unit (VW) and channel vehicle (KFZ)



3: Verteilwagen mit eingefahrenem Kanalfahrzeug.
Transfer unit with channel vehicle driven in



4: Schematische Darstellung der Lagerfronttransporteinrichtungen: a) Etagenförderer, Verteilwagen, Kanalfahrzeug, b) Regalfahrzeug, Kanalfahrzeug.
Diagrammatic view of the front warehouse transport devices, a) vertically moving floorconveyor, transfer unit, channel vehicle, b) shelf storage and retrieval machine, channel vehicle

fahrzeug mit einem modifizierten Regalfahrzeug (RFZ) zum jeweiligen Lagerkanal transportiert werden (Bild 4b).

Auf diese Weise läßt sich durch die Gestaltung der Lagerfronttransporteinrichtung das Gesamtsystem hinsichtlich Flexibilität und Umschlagleistung den unterschiedlichsten Anforderungen der Anwender anpassen.

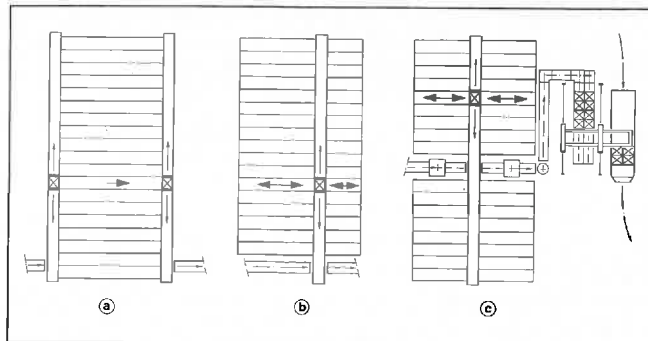
Durch die Anordnung der Lagerfronttransporteinrichtung können zwei mögliche Lagerstrategien gewählt werden.

- Wird am Anfang und Ende der Lagerkanäle beispielsweise je ein Verteilwagen eingesetzt, läßt sich das automatische Tunnellagersystem im Durchlaufprinzip betreiben (Bild 5a). In diesem Fall wird jeder Artikel nach dem FIFO-Verfahren (First in, First out) entsorgt.

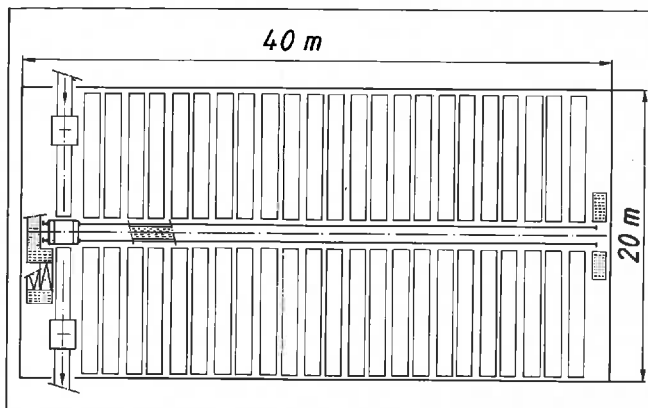
- Für den Großteil der in Frage kommenden Artikelstrukturen ist das FIFO-Prinzip jedoch nicht zwingend notwendig. Hierbei reicht es meistens aus, wenn die zuerst gefüllten Kanäle eines Artikels wieder zuerst geräumt werden, d. h. „LIFO“ (Last in, First out) innerhalb eines jeden Kanals, „FIFO“ innerhalb mehrerer artikelreiner Kanäle. Bei solchen Anforderungen kann dann eine Lagerfronttransporteinrichtung jeweils zwei Kanalfronten im Einfahrprinzip beschicken (Bild 5b).

Neben der Anordnung der Lagerfronttransporteinrichtungen zur Wahl einer gewünschten Lagerstrategie können in geringerem Umfang auch Umlagerungen zwischen den Kanälen vorgenommen werden und dadurch das FIFO-Verfahren beim Einfahrprinzip erzielt werden. Unterschiedlich lange Lagerkanäle gestatten in manchen Fällen eine Anpassung an die Artikelstruktur oder können zur bevorzugten Bereitstellung von Schnellläufern dienen.

Durch die Variation dieser Planungsbeispiele wird eine weitestgehende Optimierung an die gestellten Anforderungen von Lager- und Verteilsystemen erreicht. Bild 5c zeigt durch den Einsatz von jeweils zwei Etagenförderern in der Mitte des Lagerkörpers in Verbindung mit einer automatischen Lkw-Beladeinrichtung beispielhaft eine Planungsvariante für hohe Umschlagleistungen für den Lager- und Versandbereich.



5: Planungsvarianten a) Durchlaufprinzip (FIFO), b) Einfahrprinzip (LIFO), c) Beispiel für hohe Umschlagsleistungen bis 300 Pal/h für Ein- und Auslagerung. Planning alternatives: a) dynamic principle (FIFO), b) drive-in principle (LIFO), c) example for high handling capacities of up to 300 Pal/h for storage and retrieval of goods



6: Grundriß eines 40 m langen und 20 m breiten automatischen Tunnellagers. Layout of a 40 m long and 20 m wide automatic tunnel warehouse

Lagerkennzahlen

Die Auswahl des bestgeeigneten Systems für eine gegebene Lagerhaltung bedarf einer gründlichen technisch-wirtschaftlichen Beschreibung der möglichen Lagervarianten. Kenndaten (Absolutzahlen) und Kennzahlen (Verhältniszahlen) nach VDI 3592 [4] dienen zum Vergleich verschiedener Systeme und helfen zur Entscheidungsfindung bei der Auswahl von Stückgutlagersystemen.

Flächennutzung

Die in der Lagertechnik am häufigsten benutzte Kennzahl gibt Auskunft über den genutzten Raum bzw. der genutzten Fläche. Der Quotient der Netto-Lagergutfläche zur gesamten Lagernutzfläche wird als Flächennutzungsgrad bezeichnet.

Für die eingangs geschilderte monostrukturierte Lagerhaltung mit zumeist hohem Lagervolumen ist ein System mit hoher Flächennutzung von ausschlaggebender Wichtigkeit. Dies besonders dann, wenn in vorhandenen Blocklagerhallen ein automatisches Lager errichtet werden soll.

Wegen der geringen Verkehrsflächen läßt sich beim automatischen Tunnellagersystem eine sehr hohe Flächennutzung erzielen. Anhand eines Beispiels (Bild 6) wird der Flächennutzungsgrad des automatischen Tunnellagersystems im Vergleich mit anderen Lagersystemen aufgezeigt, die Tabelle faßt den Systemvergleich zusammen.

Lagernutzungsgrad

Um bei den Tunnellagersystemen auf jeden Artikel Zugriff zu haben, kann in einem Lagerkanal nur sortenrein eingelagert werden. Bei einer Lagerkanalkapazität k müssen demnach für jeden Artikel i mit m_i Ladeeinheiten

$$\hat{k}_i = f\left(\frac{m_i}{k}\right)$$

$$\hat{k}_i := 1 \text{ für } 0 < \frac{m_i}{k} \leq 1; = 2 \text{ für } 1 < \frac{m_i}{k} \leq 2; = 3 \text{ für } 2 < \frac{m_i}{k} \leq 3 \text{ usw.}$$

Lagerkanäle reserviert werden.

Die Gesamtzahl \hat{k} der notwendigen Lagerkanäle ergibt sich dann als Summe der Kanäle für alle n Artikel zu

$$\hat{k} = \sum_{i=1}^n \hat{k}_i$$

Der Quotient der insgesamt zu lagernden Ladeeinheiten \hat{N} zu der

Variante	Stellplätze/ Ebene	Flächennutzungsgrad
A: Bodenblocklager	280	33 %
B: Regalanlage mit Einzelplatzlagerung und RFZ-Beschickung	300	36 %
C: Durchlaufregale mit Fördermittel	310	37 %
D: Automatisches Tunnellagersystem	460	55 %

Tabelle: Palettenstellplätze (Europaletten pro Lagerebene und errechneter Flächennutzungsgrad. Pallet storage locations (Europallets) per storage level and calculated surface utilization factor

gesamten dafür notwendigen Lagerkapazität gibt Aufschluß über die maximal mögliche Belegung eines Tunnellagers und wird als Lager nutzungsgrad N_k bezeichnet.

$$N_k = \frac{\hat{N}}{\hat{k} \cdot k}$$

Artikelstruktur sowie die gewählte Lagerkanalkapazität k beeinflussen den Nutzungsgrad. Durch eine sinnvolle Kapazitätsfestlegung der Lagerkanäle läßt sich jedoch der Nutzungsgrad optimieren und eine ausreichende Gesamtnutzung erzielen.

In einem ausgeführten Planungsbeispiel konnte nachgewiesen werden, daß bei einer Anzahl von 32 bis 50 Artikel die Lagernutzung 87 bis 91% beträgt [5]. Die gewählte Kanalkapazität beträgt dabei 10 Paletten, die geforderte Lagerkapazität etwa 3000 Palettenstellplätze.

Leistungsvermögen

Durch die Entkoppelung der horizontalen und vertikalen Verteilvorgänge lassen sich beim automatischen Tunnellagersystem mit leistungsstarken Aufzügen sehr hohe Lagerumschlagszahlen erzielen. Als Beispiel zur Beurteilung wird die Lagervariante nach Bild 6 verwendet.

Lagertechnik

Das Leistungsvermögen der Verteilfahrzeuge je Lagerebene wird auf der Basis der VDI-Richtlinie 3561 „Testspiele zum Leistungsvergleich und zur Abnahme von Regalförderzeugen“ ermittelt.

Mit den zugrundegelegten Fahrzeugwerten

$$\text{VW: } v_{\max} = 2 \text{ m/s; } a = 0.6 \text{ m/s}^2 \text{ (VW = Verteilwagen)}$$

$$\text{KFZ: } v_{\max} = 0.8 \text{ m/s; } a = 0.5 \text{ m/s}^2 \text{ (KFZ = Kanalfahrzeug)}$$

$$t_{\text{Heben}} = t_{\text{Senken}} = 1.5 \text{ s}$$

ergibt sich eine mittlere Einzelspielzeit \bar{t}_E von 53 s. Dies entspricht einem Lagerumschlag von 68 Paletten/h.

Legt man ein Doppelspiel zugrunde, so erreichen sie $\bar{t}_D = 88,5 \text{ s}$ oder 41 Paletten/h. Mit zwei leistungsstarken Aufzügen zum getrennten Ein- und Auslagern nach Bild 6 lassen sich etwa fünf Lagerebenen ver- und entsorgen. Dies entspricht einer gesamten Lagerkapazität von 2300 Paletten bei einer Ein- und Auslagerungsleistung von 200 Paletten/h.

Sonstige System-Eigenschaften

Neben dem bisher Ausgeführten gibt es noch eine Reihe weiterer Besonderheiten des automatischen Tunnellagersystems, denen bei der Auswahlentscheidung eine mehr oder weniger große Bedeutung zufällt.

- Redundanz durch mehrere Verteilfahrzeuge; bei Störungen können die Fahrzeuge schnell und einfach ausgewechselt werden,
- keine beweglichen Teile im Lagerregal,
- einfache Fahr- und Führungsschienen,
- geringe Kosten pro Lagerplatz,
- dank kleiner Eigenmassen der Verteilfahrzeuge geringe Massenbewegungen und folglich geringer Energieverbrauch,
- mögliche Verwendung bereits bestehender Blocklagerhallen aufgrund vielfältiger Planungsvarianten und
- leichte Erweiterung durch Anbau von Lagerkanälen

In welchem Maße die aufgeführten Punkte bei einer Auswahlentscheidung berücksichtigt werden, hängt von der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Für die Auswahl eines Lagersystems gilt es alle Faktoren entsprechend dem gewünschten Ziel zu werten. Ein gängiges Hilfsmittel dafür stellt die Nutzwertanalyse dar.

Schlußbemerkung

Für monostrukturierte Lagerhaltungen mit hohem Artikelumschlag ist das automatische Tunnellagersystem eine günstige technische und wirtschaftliche Alternative.

Die in diesem Aufsatz vorgestellten Einsatzmöglichkeiten und Planungsbeispiele zeigen, daß dieses Lagersystem unterschiedlichsten Anforderungen angepaßt werden kann und damit eine Vielzahl anstehender Lagerhaltungen realisiert werden können.

Literaturhinweis

- [1] Buchmann R. u. H. Vogelpohl: Hochregal-Blocklager-System – ein vollautomatisches und hochflexibles Tunnellager. fördern und heben 35 (1985) Nr. 10, S. 764–768
- [2] Kalm M. u. H. Köbbing: Das Satellitenfahrzeug (SFZ) – ein neues, flexibles Lagerbediengerät. fördern und heben 32 (1982) Nr. 6, S. 461–464
- [3] Daum M. u. F. Eggenstein: Lagerfahrzeuge als bereichsübergreifende Systemkomponenten. fördern und heben 36 (1986) Nr. 5, S. 340–343
- [4] VDI 3592: Kriterien und Methoden zum Vergleich von Stückgutlagern. Herausgeber Verein Deutscher Ingenieure, Ausg. Nov. 1978
- [5] Geigerseder H. u. a.: Studie zur Neuplanung eines Lager- und Versandsystems in der Druckindustrie. Unveröffentlichte Studie der Fa. Max Kettner Verpackungsmaschinenfabrik, München, Mai 1987.

Bildnachweis:

Max Kettner Lagertechnik, 4600 Dortmund