

Ein neues Umschlagsystem für Güterverkehrszentren im Vergleich mit aktuellen Konzepten

A new handling system for freight transshipment centers in comparison with other conceptions

Prof. Dr.-Ing. D. Arnold, Karlsruhe

Dipl. Wirtsch.-Ing. B. Rall, Karlsruhe

Zusammenfassung:

Das auf einer Schwerlast-Elektrohängebahn (EHB) basierende Umschlagsystem *Concar* wird vorgestellt und mit anderen Umschlagskonzepten verglichen. Im Vordergrund stehen systemimmanente, strukturell bedingte Kriterien und ihre Auswirkungen auf den Materialfluß. *Concar* wird als Transportsystem und Parallelumschlagsystem charakterisiert. Es wird bewußt unterlassen, in den Systemvergleich herstellerepezifische, betriebswirtschaftliche Kenngrößen, z.B. Anschaffungs- und Betriebskosten, aufzunehmen. Abschließend werden Konfigurationsbeispiele des EHB-Systems für den Einsatz in Linienzugterminal, Megadrehscheibe und Güterverkehrszentrum gegeben.

Abstract:

The electric monorail based handling system *Concar* will be introduced and compared with other handling conceptions. Commercial aspects will be omitted, since the study is mainly focussed on structural criterias and their effects on the material flow. *Concar* will be characterised as a parallel system for handling and transportation. Finally, the monorail system will be configured for use in fast-transshipment-terminals, transshipment-hubs (rail-to-rail) and freight transshipment centers.

1 **Motivation**

Die heute in Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs (KV) eingesetzte konventionelle Umschlagtechnik hat einen Reifegrad erreicht, der nur noch marginale Verbesserungen zuläßt. Innovative KV-Produktionskonzepte, z.B. Ring- und Linienzug, heben das Anspruchsniveau an die eingesetzte Umschlagtechnik. "Innovationschübe" sind in diesem Bereich nur durch grundlegend neue Umschlagtechnologien zu erreichen.

Aus dieser Notwendigkeit heraus sind in den letzten Jahren einige neue Systemlösungen unterschiedlicher Hersteller entstanden, die als Konzeptstudien vorliegen und in wenigen Fällen bereits zum Aufbau und Betrieb von Versuchsanlagen führten. Bei Investitionsentscheidungen für den Bau "realer" KV-Terminals konnte sich jedoch noch keines der neuen Konzepte durchsetzen.

2 **Charakterisierung von Umschlagskonzepten**

Im Vertikalumschlag dominiert derzeit die **Krantechnik**. Die Krane sind in Portal- oder Kragarmbauweise ausgeführt und überspannen meist vier Umschlaggleise, Lagerspuren sowie eine Ladespur für Lkws. Ein Kran arbeitet in serieller Folge die Be- oder Entladeaufträge ab und schlägt die Ladeeinheiten (LE) zwischen Straßenschiene oder Schiene-Schiene - eventuell noch über Zwischenlagerung - um. Besonders effizient ist diese Technik beim direkten Umschlag zwischen Zug und Lkw. Hierfür reicht gelegentlich die Bewegung der Krankatze aus, und das mächtige Kranfahrwerk muß dann nicht bewegt werden. Sobald sich der Kran jedoch über längere Strecken in horizontaler Richtung parallel zum Umschlaggleis bewegt, wird die Spielzeit deutlich verlängert. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Ladeeinheiten nach Zwischenlagerung auf eine bestimmte Zugposition aufgeladen werden, oder wenn die Zielpositionen zweier aufeinanderfolgender Lkws weit voneinander entfernt sind.

Neben der Portalkrantechnik findet man in KV-Terminals häufig noch mobile Umschlaggeräte, sogenannte Reach Stacker (RS) bzw. Front Lift Trucks (FLT). Sie kommen meist in sehr kleinen KV-Anlagen sowie zur Unterstützung der Portalkräne während der Lastspitzen oder zur Leercontainerstapelung zum Einsatz. Mobile Umschlaggeräte sind aus heutiger Sicht nicht sinnvoll automatisierbar und der damit erreichbare Durchsatz ist gering. Aus diesen Gründen werden sie nachfolgend nicht betrachtet.

Während in konventionellen Terminals die Ladeeinheiten auf dem Boden zwischengelagert werden (Container meist zweifach gestapelt), favorisieren die neuen Systemlösungen von NOELL und KRUPP die **Hochregal-Lagerung**. Auf eine große Stützweite muß dabei verzichtet werden; die Umschlaggeräte überspannen jeweils nur ein Umschlaggleis. Durch das Hochregallager wird die Lagerfläche besser genutzt und ein direkter Zugriff auf alle Ladeeinheiten (ohne Umstapelvorgänge) gewährleistet.

Mit seinem seitlich auskragenden, hydraulischen Teleskoparm ermöglicht das System "Transmann" der MANNESMANN TRANSMODAL die **Behandlung des Zuges unter dem Fahrdraht**. Das System bietet derzeit als einziges diese Eigenschaft an.

Daneben gibt es Systemlösungen, z.B. von HILGERS und TUCHSCHMID ENGINEERING, in denen die **konventionelle Portalkrantechnik abgewandelt** wurde. Bei beiden Konzepten werden die großen, oft über 40 Meter breiten Portale durch kleinere ersetzt. Das TUCHSCHMID-Konzept sieht aufgeständerte Trassen für die Krankatze vor. Im Vergleich zu konventionellen Kranen wird durch diese Bauweise die in horizontaler Richtung bewegte Masse deutlich reduziert. An der Schnittstelle zum Lager werden Fahrerlose Transportsysteme eingesetzt. HILGERS verwendet neben zwei Halbportalkranen eine Quer- und Längsfördereinheit.

Betrachtet man neben den genannten Besonderheiten das eigentliche "Kernstück", nämlich das **zugrundeliegende Umschlagsprinzip**, so zeigt sich, daß die Systeme von NOELL, TRANSMODAL, HILGERS und TUCHSCHMID nicht wesentlich von der konventionellen Krantechnik abweichen. Allen Systemen ist gemein, daß wenige "Krane" parallel zum Zug verfahren, die Ladepositionen in serieller Folge anfahren und die Ladeeinheiten in direktem oder indirektem Umschlag auf den nebenstehenden Lkw laden. Alle genannten Systeme beinhalten zwar interessante technische Lösungen, doch keine prinzipiellen Neuheiten der zugrundeliegenden Umschlagtechnik - gleichgültig, ob die Geräte manuell bedient werden oder automatisch arbeiten.

Demgegenüber steht die Systemlösung von KRUPP für ein wirklich neues Umschlagprinzip: die **Rendez-vous-Technik**. Die Idee ist unmittelbar einleuchtend: Zur Behandlung der bis zu 700 Meter langen Züge ist eine Relativbewegung zwischen Zug und Umschlaggerät erforderlich, die aber nicht das Umschlaggerät, sondern der Zug selbst macht. Dadurch kann der Umschlagbereich erheblich verkürzt werden. Obwohl es denkbar ist, daß mehrere derartiger Umschlagmodule nebeneinander denselben fahrenden Zug bearbeiten, stellt der Umschlagbereich einen potentiellen betriebsorganisatorischen Engpaß dar. Infolge des technischen Risikos der Rendez-

vous-Technik stellt sich insbesondere die Frage nach der im täglichen Betrieb erreichbaren Systemverfügbarkeit.

Im folgenden Abschnitt soll nun ein weiteres System vorgestellt werden, das ebenfalls ein grundsätzlich neues, darüberhinaus in hohem Maße **parallelisiertes Umschlagsprinzip** mit richtungstreuem Materialfluß aufweist: das System *Concar* der THYSSEN AUFZÜGE GmbH, Produktbereich Fördertechnik.

3 EHB-Umschlagsystem Concar

Erste Erfahrungen mit Elektrohängebahnen (EHB) im Lastbereich von ca. 20 Tonnen konnten bereits 1977/1978 beim Bau des Staudamms von Itaipu, Brasilien/Paraguay gesammelt werden, als EHB-Fahrzeuge mit großem Erfolg für den Betontransport auf der Großbaustelle unter tropischen Umweltbedingungen eingesetzt wurden. Das *Concar*-System ist eine Weiterentwicklung des damaligen Beton-Transportsystems und wurde in Fachkreisen bereits unter der Bezeichnung Container-Transport-System (CTS) bekannt.

Der systemimmanente Vorteil von *Concar* liegt jedoch darin, daß dieses System nicht nur für den Transport, sondern ebenso für den Umschlag von Containern und allen anderen Ladeeinheiten des Kombinierten Ladungsverkehrs eingesetzt werden kann.

Um Container mit unterschiedlichen Längen aufnehmen zu können, sieht das *Concar*-Konzept vor, daß eine Ladeeinheit von jeweils zwei Hängekatzen getragen wird (siehe Bild 1). Über den Abstand der beiden Hängekatzen erfolgt die Längen Anpassung des geteilten Ladegeschrirs. Dieser Aufbau hat zugleich den Vorteil, daß die Momente im Spreader reduziert werden, weil Anlenkpunkte der Last und Einleitpunkte der Gewichtskräfte in die Trasse immer übereinander liegen. Die aufgeständerten Trassen der *Concar*-Fahrzeuge liegen in einer Höhe von ca. 12 Metern mittig über den Zuggleisen bzw. den Lkw-Ladespuren. Alle *Concar*-Fahrzeuge sind mit Hubwerken ausgerüstet, so daß sie die Ladeeinheiten an jeder Stelle unterhalb der Trasse aufnehmen bzw. absetzen können.



Bild1:

*Umschlag eines Wechselbehälters mit dem EHB-System Concar
Handling of a swap body with the electric monorail system Concar*

Während der Fahrt werden die *Concar*-Fahrzeuge automatisch gesteuert. Die Disposition der Fahrzeuge übernimmt der Materialfluß-Rechner der Anlage. Da alle Fahrzeuge entlang ihrer Fahrtrassen beliebig eingesetzt werden können, ist es z.B. möglich, sämtliche verfügbaren *Concar*-Fahrzeuge auf ein Umschlaggleis zu konzentrieren und einen zeitkritischen Zug in sehr kurzer Zeit zu ent- und beladen. Ebenso können die Kapazitäten auf der Seite der Lkw-Bedienung gebündelt werden, um Spitzenbelastungen zu glätten. Im einfachsten Fall werden bei der Einfahrt eines Lkws, der eine Ladeinheit anliefert und zugleich eine Ladeinheit abholen soll, parallel zwei *Concar*-Fahrzeuge aktiviert: Während das erste *Concar*-Fahrzeug den Lkw entlädt, wird die abzuholende Ladeinheit durch das zweite Fahrzeug bereitgestellt und im Anschluß an die Entladung auf den Lkw abgesetzt. Mit der flexiblen Disposition der Fahrzeuge können die Abfertigungsprioritäten entsprechend der jeweiligen Beladesituation gewechselt werden.

4 *Serielles versus paralleles Umschlagprinzip*

Wie bereits erwähnt, ist die konventionelle Krantechnik Stand der Technik in KV-Terminals. Jedes neue Umschlagsystem muß sich daher primär an dieser Technik messen lassen. Nachfolgend wird das EHB-Umschlagsystem anhand struktureller, systemimmanenter Kriterien mit dem konventionellen Kranumschlagsystem verglichen.

Das Institut für Fördertechnik der Universität Karlsruhe (IFK) ist an der Entwicklung des *Concar*-Systems beteiligt. Im Rahmen einer im Terminal München-Riem durchgeführten Ist-Aufnahme wurden für den konventionellen Schiene-Straße-Umschlag Spielzeiten zwischen 1,5 und 6 Minuten gemessen, wobei ein Be- oder Entladespiel aus den vier Phasen "Horizontalfahrt (unbeladen)", "Aufnahme der Ladeeinheit", "Horizontalfahrt (beladen)", "Absetzen der Ladeeinheit" besteht. Insbesondere in der ersten Phase "Horizontalfahrt (unbeladen)" kommt es zu großen zeitlichen Schwankungen. Neben den relativ großen Streubreiten in den Bedienungszeiten fiel insbesondere der hohe Anteil der Horizontalfahrten (ca. 40 %) an der Gesamtspielzeit auf. Letzteres begründet die Feststellung, daß jedes Umschlagsystem gleichermaßen eine Umschlag- und eine Transportfunktion erfüllen muß.

Der Grenzdurchsatz eines einzelnen *Concars* muß nicht dem eines Portalkrans entsprechen, weil sich die Betriebscharakteristika der beiden Systeme grundsätzlich unterscheiden. In jedem Be- und Entladespiel des Hängebahnsystems ist ein systembedingt notwendiger Fahrtzeit-Anteil enthalten, der die Spielzeit eines *Concars* erhöht. Die einzelne Spielzeit eines *Concars* hat auf die gesamte Leistungsfähigkeit der Anlage jedoch nicht den dominierenden Einfluß, wie es bei Systemen mit nur einer Bedieneinheit (Single-Server-System), z.B. einem Portalkran, der Fall ist. Bei dem *Concar*-System arbeiten viele Einheiten völlig autark und parallel, so daß sich die Gesamtleistung der Anlage aus der Summe aller Einzel-Kapazitäten ergibt (Multi-Server-System).

Im Rahmen einer Ist-Aufnahme des Instituts für Fördertechnik in den Umschlagterminals Karlsruhe und Mannheim wurde nachgewiesen, daß die Zeiten zwischen der Ankunft jeweils zweier aufeinanderfolgender Lkws einer Exponentialverteilung genügen (Markov-Prozeß). Somit kann das System mit analytischen Verfahren der Bedientheorie exakt abgebildet werden.

Die Leistungscharakteristika von Kransystem (Single-Server) und EHB-System (Multi-Server) sollen nun an einem Beispiel verdeutlicht und insbesondere quantifiziert werden. In dem Beispiel wird davon ausgegangen, daß ein Kran pro Umschlag zwei Minuten benötigt und ein *Concar* acht Minuten - jeweils mit einem Variationskoeffizienten¹ von 2,0. Es wird eine Terminalkonfiguration von zwei Kranbahnen mit jeweils zwei Kranen zugrundegelegt (entspricht z.B. dem KV-Terminal München-Riem). Demgegenüber wird das parallele Umschlagsystem mit 15 Bedieneinheiten (Concars) bestückt. In Summe ergibt sich also für beide Varianten ein maximaler Durchsatz von 120 Ladeeinheiten pro Stunde. Weiterhin wird angenommen, daß sich das Lkw-Aufkommen gleichmäßig auf beide Kranbahnen verteilt, wobei die Zwischenankunftszeiten der Lkws zufällig sind (Markov-Prozeß).

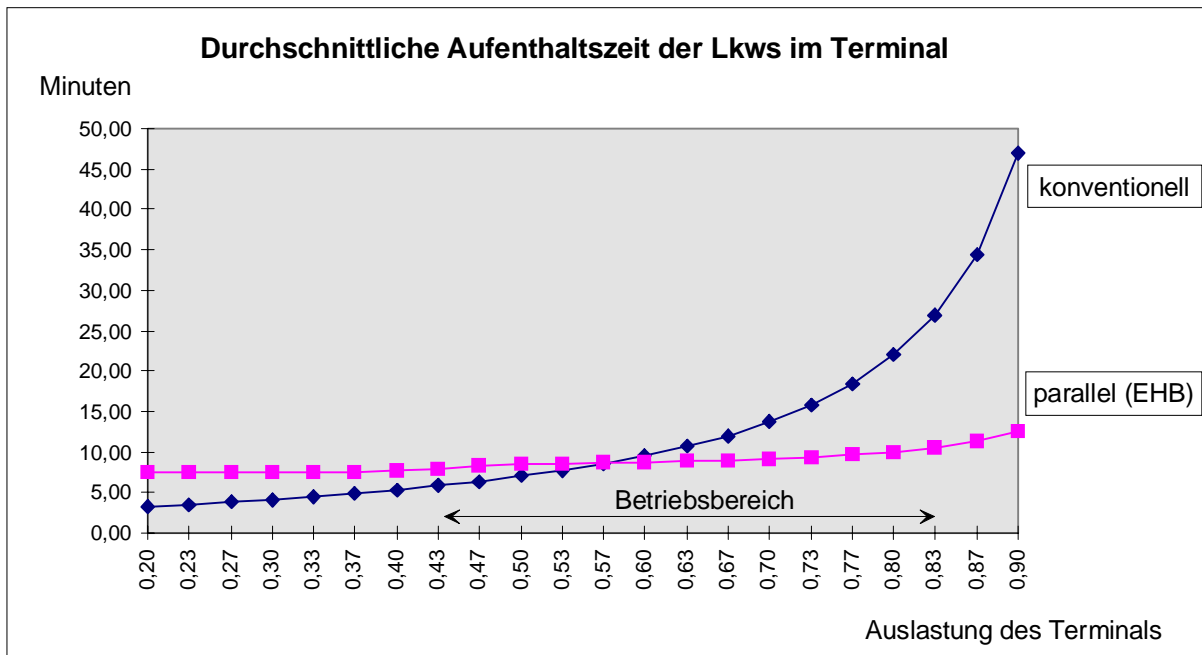


Bild 2:

*Vergleich der Bedienzeiten von konventionellem und parallelem Umschlagsystem
Comparison of service times of single-server and multiple-server handling system*

Die aufgrund der betriebsbedingten Stochastik auftretenden mittleren Warteschlangen können nun mit Hilfe der Bedientheorie für beide Systeme berechnet werden. In der fachspezifischen Bezeichnung (Kendall'sche Notation) wird ein Kransystem (Single-Server) als M/G/1-Bediensystem und das EHB-System (Multi-Server) als M/G/15-Bediensystem mit 15 parallelen Bedieneinheiten abgebildet.

¹Der Variationskoeffizient ist ein Maß für die „relative Streuung“ und berechnet sich als Quotient aus Mittelwert und Standardabweichung der Stichprobe.

In Bild 2 ist die Aufenthaltszeit der Lkws im Terminal über der Auslastung des Umschlagsystems aufgetragen. Hierbei handelt es sich um Mittelwerte, d.h. die tatsächlich beobachtbaren Zeiten können im konkreten Einzelfall deutlich über oder unter dem angegebenen Mittelwert liegen. Man erkennt, daß bei geringer Terminal-Auslastung die Lkw-Aufenthaltszeiten des EHB-Systems höher sind als die des Kransystems, was in der längeren Einzelspielzeit (8 Minuten gegenüber 2 Minuten) begründet ist. Mit zunehmendem Auslastungsgrad treten beim konventionellen System Verzögerungen auf, so daß sich die durchschnittliche Verweil- und Wartezeit erhöht. Demgegenüber verhält sich das parallele System weniger empfindlich, und die Verweilzeiten steigen kaum an. Im oberen Lastbereich (im Beispiel ab ca. 80 %) steigen die Wartezeiten des konventionellen Systems sehr stark an, weil sich die „Verspätungen seriell aneinanderreihen“ - ein beherrschter Terminalbetrieb ist nicht mehr möglich.

Wegen der diskontinuierlichen Tagesganglinie in KV-Terminals sind die Umschlaggeräte zwar oft über Stunden hinweg nur mäßig ausgelastet, doch während der Spitzenbelastungen (insbesondere morgens nach Ladebeginn und abends vor Ladeschluß) treten sehr hohe Auslastungsgrade auf. Diese Situation - lange Lkw-Warteschlangen und zeitweise überlastete Umschlageinheiten - ist bei nicht überdimensionierten Terminals oft zu beobachten. In diesen aufkommensstarken Phasen hat das parallele Umschlagsprinzip deutliche Vorteile gegenüber dem konventionellen, da es sich wesentlich robuster gegenüber stochastischen Schwankungen im Ankunftsverhalten der Lkws verhält. Aufgrund der 15 parallelen Einheiten können Spitzenlasten kompensiert werden, z.B. können mehrere gleichzeitig einfahrende Lkws gleichzeitig bedient werden. Dadurch bleiben die Servicezeiten selbst bei hoher Auslastung kalkulierbar.

6 EHB-Konfiguration für innovative Anwendungsgebiete

Linienzüge- und Ringzüge gelten derzeit als zukunftssträchtige Produktionssysteme des Kombinierten Ladungsverkehrs. Hierbei verkehren die Züge entlang einer Linie bzw. Schleife mit mehreren Umschlagstationen, in welchen die Ladeeinheiten innerhalb eines engen Zeitfensters von ca. einer halben Stunde zwischen Zug und Zwischenlager umgeschlagen werden. Dabei werden die Züge meist nicht komplett entladen. Das Umschlagsystem muß nun in der Lage sein, innerhalb der vorgegebenen Zeit einige Ladeeinheiten aus dem Zugverband abzuladen und andere Ladeeinheiten auf den Zug aufzusetzen. Mit diesem Konzept sind gesteigerte Anforderungen an das zugseitige Be- und Entladesystem verbunden - man spricht in diesem

Zusammenhang von einer **Schnellumschlaganlage**. Diese Aufgabe kann von einem Parallel-Umschlagsystem auf einfache Weise gelöst werden: Vor Einfahrt des Zuges werden die notwendigen *Concar*-Fahrzeuge bereits disponiert, um dann parallel den Zug zu ent- und beladen. Mit entsprechender Vorhaltung an Fahrzeugen ist die schnelle Bedienung des Zuges innerhalb eines halben Umlaufes möglich. In Bild 3 ist dies vereinfacht dargestellt.

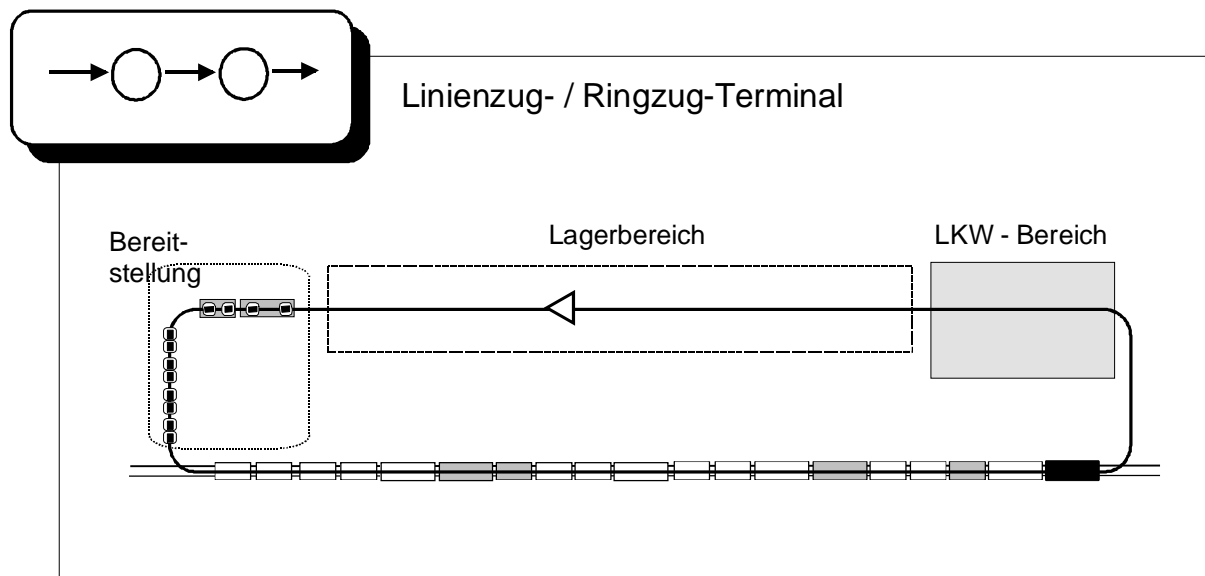


Bild 3:
Vereinfachter Aufbau eines Concar-Linienzug- bzw. -Ringzug-Terminals
Simplified layout of a Concar terminal for regular-service trains

Die KRUPP-Schnellumschlaganlage trägt dieses Anwendungsgebiet bereits im Produktnamen, und dementsprechend gut eignet sie sich auch für den Einsatz im Linienzugterminal. Die anderen konkurrierenden Systeme können durch Vervielfachung der Umschlagskapazitäten zu einer Schnellumschlaganlage „aufgerüstet“ werden. Allerdings sind dabei sehr bald die technischen und ökonomischen Grenzen erreicht, da sich diese typischen Single-Server-Systeme aufgrund von Behinderungs- und Blockierungseffekten nicht beliebig parallelisieren lassen und darüberhinaus die Anschaffungskosten stark ansteigen.

Die Bildung von Mehrgruppenzügen, welche heute noch zeit- und kostenintensiv durch Umrangieren der Waggons in Umstellbahnhöfen erfolgt, soll in Zukunft durch ein „Umsteigen“ der Ladeeinheiten in einer sog. **Schiene-Schiene-Drehscheibe**

erfolgen. Bis zur Jahrtausendwende sollen im Netz der Deutschen Bahn AG bereits zwei dieser „Megadrehscheiben“ gebaut werden.

Die Anforderungen an die Umschlagtechnik in einem solchen Terminal sind von neuer Qualität, da die Abfertigung von mehreren Zügen (sog. „Zugbündel“) innerhalb eines engen Zeitfensters von ca. einer Stunde erfolgen muß und die Ladeeinheiten „kreuz und quer“ zwischen den Umschlaggleisen für die verschiedenen Relationen umsteigen. In Bild 4a) ist hierfür schematisch der Materialfluß für ein Terminal mit konventionellem „seriellem“ Umschlagprinzip abgebildet. Es ist unmittelbar einsichtig, daß sich mehrere nebeneinanderstehende Krane gegenseitig behindern. Demgegenüber kommt dem *Concar*-System in dieser Anwendung der Umstand zugute, daß die Fahrtrassen in Einbahn-Richtung befahren werden. Somit verläuft der Materialfluß in Bild 4b) geordnet und richtungstreu.



Bild 4:

Exemplarische Darstellung des Materialflusses in einer Schiene-Schiene-Drehscheibe für: a) konventionelles Terminal und b) EHB-Terminal

Illustration of the material flows in a rail-to-rail-hub for a) transtainer terminal and b) monorail terminal

Das *Concar*-Prinzip eignet sich gleichermaßen für direktes Umsteigen von Zug auf Zug oder indirektes Umsteigen über Zwischenlager. In beiden Fällen wird eine hohe Umschlagleistung durch paralleles Entladen, Beladen und Verteilen erreicht. Mit keinem anderen Umschlagsystem kann der komplexe Schiene-Schiene-Umschlag in gleicher Weise parallelisiert und zugleich entflochten werden.

In Bild 5 das Layout einer *Concar*-Drehscheibe mit sechs parallelen Umschlaggleisen (im Bild unten), 5 Lagerspuren (incl. 180°-Wendeplätze) und einer Leerfahrzeugspur (im Bild oben) abgebildet.

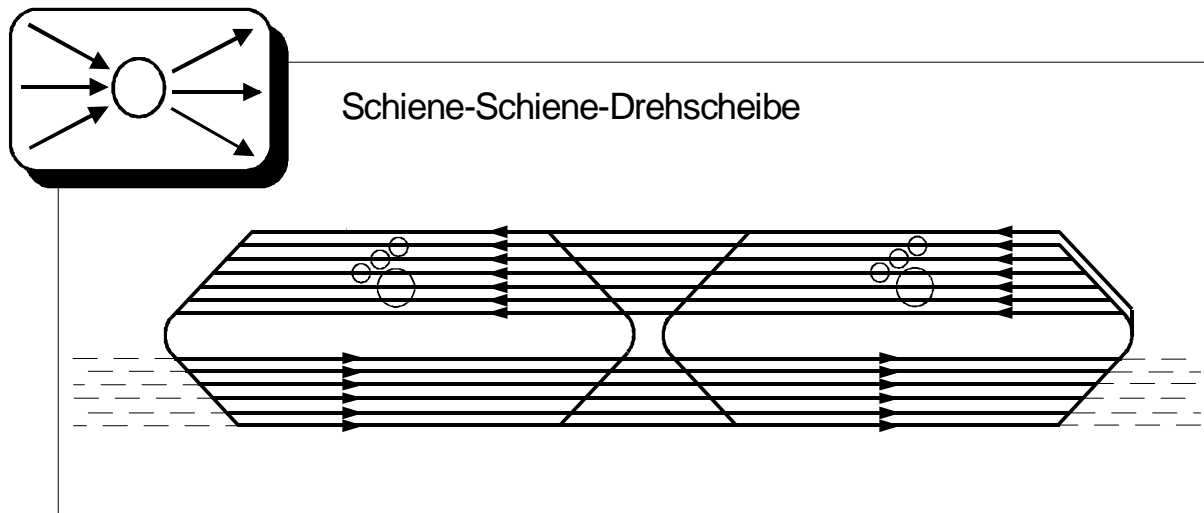


Bild 5:

Layout einer Concar-Schiene-Schiene-Drehscheibe

Layout of a rail-to-rail hub with Concar

In **Güterverkehrszentren** (GVZ) nimmt das KV-Terminal eine zentrale Funktion ein. Hier werden die im Frachtbereich kommissionierten Ladeeinheiten gebündelt, hier beginnen und enden die Bahntransporte. Zwischen KV-Terminal und dem Frachtbereich der im GVZ ansässigen Spediteure müssen jedoch oft Distanzen von mehreren hundert Metern mittels Platzfahrzeugen überbrückt werden. Dieser Transport und insbesondere der damit verbundene zusätzliche Umschlag ist zeit- und personalintensiv und verursacht entsprechend hohe Kosten. Ein kombiniertes Umschlag- und Transportsystem könnte an dieser Stelle den direkten Transfer zwischen Zug und Frachtbereich herstellen und Ladeeinheiten automatisch an alle Laderampen innerhalb des GVZ verteilen und ebenso die Ladeeinheiten aller Betriebe einsammeln. Prinzipiell kann zu diesem Zweck eine Kombination aus Umschlaggerät und Fahrerlosem Transportsystem eingesetzt werden, wie z.B. im „Transterminal“ von MAN-NESMANN TRANSMODAL oder im „CompactTerminal“ von TUCHSCHMID ENGINEERING. Gegenüber diesen Systemen besitzt das *Concar*-System jedoch den wesentlichen Vorteil, daß die aufgeständerten Fahrtrassen im GVZ direkte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ohne Kollisionsgefahr mit bodengebundenen Verkehren ermöglichen (vgl. Bild 6). Zudem erfolgt der Transfer zwischen Aufnahme- und Abgabeort ohne Wechsel des Lastaufnahmemittels. Es ist denkbar, daß die *Concar*-

