

# Kennzahlen und Kennlinien zum Systementscheid „Lagerkern“



Fließlager haben in den letzten Jahren eine kontinuierliche Weiterentwicklung erfahren. Technologieinnovationen für die Fließlagertechnik und die erfolgreichen Verknüpfungen mit teil- und vollautomatischen Bedientechniken haben zu neuen System- und Integrationskonzepten geführt. Diese Entwicklung auf allen Ebenen hat zur Erschließung neuer Applikationsfunktionen und -branchen geführt. Unter definierten Rahmenbedingungen stellt die Fließlagertechnik eine attraktive logistische und wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Regaltechnik dar.



# Inhalt



Einleitung	4
Executive Summary	5
Funktionalität	6
Adaptionsfähigkeit	7
Anwendungsbereiche	8
Technik und Wirtschaftlichkeit	10
Fazit	12
Autoren	13
Sponsor	14

# Einleitung



Um wirtschaftliche Einsatzbereiche für Fließlager aufzuzeigen, wurden am Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover relevante Einflussfaktoren zusammengetragen und das Fließlager mit dem konventionellen Einzelplatzregal verglichen. Für die Berechnung wurden im westeuropäischen Raum übliche Investitions- und Kostengrößen zugrunde gelegt. Basis der Ergebnisse und nachfolgenden Ausführungen sind Einheitenlager mit Standardpaletten.

Untersuchungsziel war es, in Abhängigkeit von der Regaltechnik die optimale Lagerkubatur, d. h. die optimalen Längen-, Breiten- und Höhenmaße des Lagerkerns, zu finden. Als Verfahren wurde die vollständige Enumeration eingesetzt. Hierbei werden alle machbaren Lösungen berechnet und die optimale Lösung ausgewählt.

# Executive Summary

Es wurden Optimierungsziele verfolgt, die für die Planung eines Lagers von Bedeutung sind. Neben minimalen Betriebskosten sind das u. a. der minimale Flächenbedarf oder die geringsten Investitionen. Sowohl die notwendige Lagerkapazität als auch die stündlichen Lagerbewegungen dienen als Vorgabegrößen der Vergleichsrechnungen.

Weitere Einflussfaktoren sind u. a. die einzusetzende Lagerbedientechnik, die Lagertemperatur, die Maße und das Gewicht der einzulagernden Ladeeinheiten, die betrieblichen Arbeitszeiten, die Personal- und Energiekosten sowie die Preise für das Baugrundstück und das zu errichtende Lagergebäude.

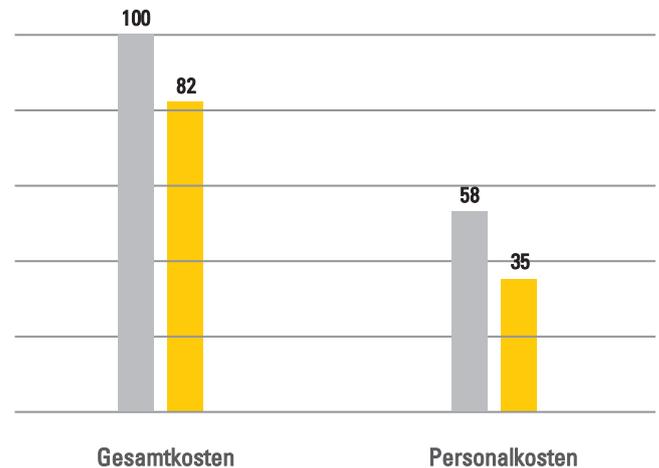
Mit Hilfe eines rechnergestützten Modells wurden eine Vielzahl an praxisrelevanten Kombinationsmöglichkeiten aus Vorgabegrößen und Einflussfaktoren berechnet sowie Kennzahlen und Kennlinien entwickelt. Sie bieten Planern und Entscheidern den Vorteil, dass nicht nur eine Betriebsituation dargestellt wird, sondern Verläufe und Trends deutlich werden. Auf diese Weise können zukünftige Entwicklungen, beispielsweise ansteigende Lagerbewegungen, bei der Entscheidung Berücksichtigung finden.

Die in den Bildern angeführten Betriebskosten umfassen die Personal-, Energie- und Instandhaltungskosten einer Periode. Die Summe aus den Betriebskosten und den kalkulatorischen Kosten wird als Gesamtkosten bezeichnet. Die wesentlichen Rahmenbedingungen sind für jedes Diagramm ausgewiesen. Das sind die Kapazität, das Optimierungsziel, die Lagerbedientechnik, die Lagertemperatur und der Umschlag.

Die entwickelten Kennzahlen und Kennlinien sollen als Indikatoren für einen anforderungsgerechten Lagersystementscheid dienen. Sie verfolgen das Ziel, den Lösungsraum von Planern und Entscheidern auf die technisch machbaren und wirtschaftlich interessanten Lösungen einzugrenzen.

## Gesamtkostenoptimierung, Schubmaststapler, 5.000 Paletten, 150 Paletten/h, Normallager

Kosten in %



■ Einzelplatzregal  
■ Fließlager

Im

Einzelnen lässt sich aus den Ergebnissen folgendes ableiten:

- Bei gleicher Kapazität kann mit abnehmender Anzahl unterschiedlicher Merkmalssätze der Ladeeinheiten die Kanaltiefe zunehmen und die Kanalanzahl abnehmen – Ein typisches Merkmal ist die Artikelgleichheit. Unter ansonsten gleichbleibenden Rahmenbedingungen steigt die Wirtschaftlichkeit von Lagersystemen mit Fließlagertechnik und der Flächenbedarf nimmt ab.
- Die kürzeren Fahrwege bei der Bedienung eines Fließlagers reduzieren den Bedarf an Flurförderzeugen und Personal. Mit zunehmenden Lagerbewegungen steigen deshalb die Gesamtkosten eines Fließlagers weniger stark an als die eines Lagers mit Einzelplatzregalen.
- Durch das geringere Bauvolumen von Fließlagern ist bei gleicher Kapazität der Energiebedarf zum Heizen oder Kühlen geringer. In Frischelagern und insbesondere in Tiefkühlagern birgt das bei zukünftig steigenden Preisen für Energie einen bedeutenden Kostenvorteil und unterstreicht den ökologischen Nutzen.
- Der im Fließlager durch die Neigung der Kanäle entstehende ungenutzte Freiraum wird durch den geringen Flächenbedarf des Fließlagers mehr als kompensiert.

# Funktionalität

Charakteristisch für Fließlager ist die Kanalstruktur. Die Kanäle sind mit nicht angetriebenen Rollen ausgestattet. Das Fließen der Ladeeinheiten von der Aufgabe im Kanal bis zur Bereitstellung für die Entnahme aus dem Kanal erfolgt durch Nutzung der Schwerkraft. Über Rollen laufen die Ladeeinheiten durch den Kanal. Bremsrollen steuern die Geschwindigkeit der Ladeeinheiten.

Durch einen Separator am Ende des Kanals wird sichergestellt, dass auch mehrere aufgestaute Ladeeinheiten mit hohem Gewicht sanft vorrücken, nachdem eine Ladeeinheit entnommen wurde. Die je Kanal zur Entnahme bereitgestellte Ladeeinheit ist in der Regel staudruckfrei für die pro-

blemlose Entnahme. Fließlager ermöglichen eine kompakte Lagerung mit Kanaltiefen für bis zu 50 Paletten.

Dort wo Schnelldreher und eine begrenzte Artikelanzahl vorliegen und als strategisches Ziel eine ressourcenschonende Logistik gefragt ist, sind Fließlager als kompakte und energieeffiziente Technik kaum zu verdrängen. Wirtschaftlichkeitsvergleiche mit konventionellen Lagertechniken unterstreichen diese Aussage.

Die Temperatur im Lager beeinflusst die Kosten. Es wird zwischen Normal-, Frische- und Tiefkühlager unterschieden. Normallager sind nicht temperaturregelt.

## Gesamtkostenoptimierung, Schubmaststapler, 150 Paletten/h

Temperatur	Gesamtkosten in %		
	Kapazität in Paletten	Einzelplatzregal	Fließlager
Normallager	5.000	100	81
	10.000	122	126
	15.000	147	157
Tiefkühlager	5.000	139	111
	10.000	192	168
	15.000	250	218

## Betriebskostenoptimierung, Schubmaststapler, 150 Paletten/h

Temperatur	Betriebskosten in %		
	Kapazität in Paletten	Einzelplatzregal	Fließlager
Normallager	5.000	100	60
	10.000	102	79
	15.000	104	80
Tiefkühlager	5.000	115	71
	10.000	128	96
	15.000	144	100



## Adaptionsfähigkeit

Fließlager zeichnen sich durch die Möglichkeit der Skalierbarkeit aus. Ein Anstieg der Anzahl der Ladeeinheiten mit identischen Merkmalssätzen kann durch eine Verlängerung der Kanäle realisiert werden. Einer Zunahme der Merkmalsätze der Ladeeinheiten kann durch eine Erhöhung der Kanalanzahl entsprochen werden. Merkmale einer Ladeeinheit können der Artikel, seine Mindesthaltbarkeit, der Lieferant, die Destination, die Transporttour, eine Sequenzierung, die Höhe oder das Gewicht der Ladeeinheit, eine Artikelgruppe etc. sein.

Eine Steigerung der Durchsatzleistung ist durch die Erhöhung der vor- und nachgeschalteten Bedientechnik zu realisieren. Fallweise wird entweder die Anzahl der im Zusammenspiel agierenden personenbedienten oder automatischen Flurförderzeuge erhöht, oder es werden mehrere Fahrabschnitte mit zugeordneten automatisierten Einheiten, wie beispielsweise Regalbediengeräte, gestaltet. Automatische Bediengeräte stellen die ausgelagerten Ladeeinheiten an einer definierten Stelle für den innerbetrieblichen Transport bereit. Eine entsprechende Schnittstelle muss für die einzulagernden Ladeeinheiten geschaffen werden.

Als Flurförderzeuge stehen vom deichselbedienten Elektrohubwagen über den Gegengewichtsstapler bis hin zum Schubmaststapler und Schmalgangstapler alle Varianten zur Auswahl. Personenbediente Flurförderzeuge können gleichermaßen die Bedienung des Fließlagers und den innerbetrieblichen Transport ausführen. Eine zeitaufwendige und kostenintensive Schnittstelle zwischen Lagerbedienung und innerbetrieblichen Transport kann entfallen.

Fließlager erfüllen uneingeschränkt die Anforderungen nach Kapazitäts- und Leistungsflexibilität. Das Fließlager kann mit dem Unternehmen wachsen. Fließlager sind aufgrund ihrer Flexibilität in einer besonderen Weise für das Retrofit bzw. für einen Systemwechsel in der Lagertechnik geeignet.

Mehr denn je ist im Zeitalter der grenzenlosen Standortwahl die Mobilität ein entscheidendes Auswahlkriterium für Lageranlagen. Das bedeutet für Mitarbeiter und Technologie die Notwendigkeit, Standortwechsel akzeptieren zu können. Auch für Lageranlagen und deren Bedienungstechnik gilt, dass der Abbau der Anlage an einem Standort und der Aufbau an einem anderen Standort problemlos, schnell und preiswert erfolgen können sollte. Diese Anforderung kann von Fließlagern erfüllt werden.

# Anwendungsbereiche



Gesamtkostenoptimierung, Schubmaststapler, 5.000 Paletten  
Normallager

Umschlag in Paletten/h	Gesamtkosten in %	
	Einzelplatzregal	Fließlager
0	88	92
50	155	139
150	222	187

Fließlager finden in der Produktion, dem Handel und der Dienstleistung Anwendung. Sie werden als teil- oder vollautomatische Systeme in nahezu allen Branchen eingesetzt. Man findet Applikationen in Industrie- und Entwicklungsländern.

In der Produktion haben sie häufig die Aufgabe, den Teilefluss verschiedener Fertigungsbereiche als Puffer im Hauptschluss zu entkoppeln. Dabei übernehmen Fließlager auf der einen Regalseite die Aufnahmefunktion, in den Kanälen die Pufferfunktion und die Realisierung der Flussfunktion

sowie auf der anderen Regalseite die Bereitstell- und Abgabefunktion. Die Flussfunktion in den Kanälen vom Input zum Output wird durch Schwerkraft „automatisiert“ und somit bedienerlos durchgeführt.

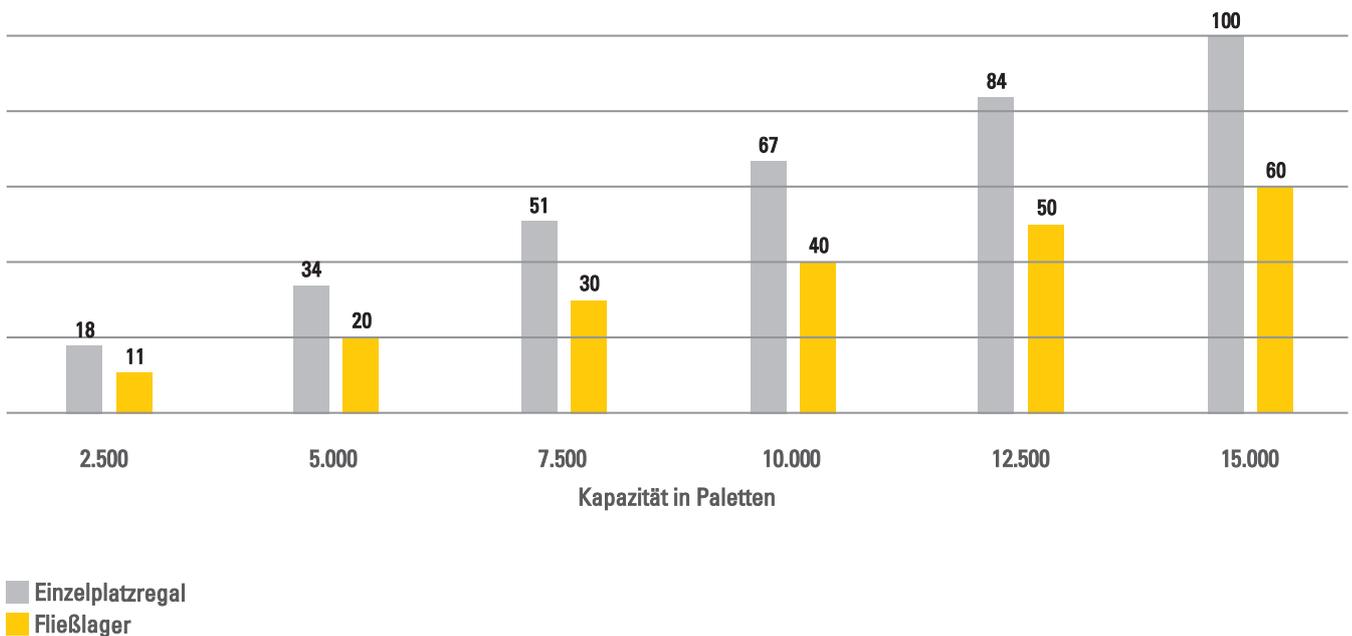
Das Fließlager zeichnet sich durch eine hohe Energieeffizienz aus. Auf Grund der kompakten Bauweise werden Flächenressourcen geschont und insgesamt wird ein hoher Grad der Umweltverträglichkeit erzielt. Die Lagertechnik ist frei im Gebäude aufgestellt und somit unabhängig vom Gebäude.

Beispielsweise werden die Baugruppen aus der Vorfertigung artikelrein in die entsprechenden Kanäle eingebracht und im Zwangsablauf nach dem First-in/First-out-Prinzip für die Endmontage bereitgestellt. Nachdem der Werker den Entnahmekanal mit der zugeordneten Palette erreicht hat, kann diese ohne Suchprozesse nach einem dedizierten Lagerplatz entnommen werden. Das Fließlager stellt auf Grund seines Arbeitsprinzips eigenständig eine Lagerordnung her.

In der Kommissionierung kann das Fließlager in Kombination für Nachschubaufgaben und für die statische Bereitstellung zur Entnahme genutzt werden. Im oberen Bereich der Regalanlage ist der Nachschub platziert und im unteren Bereich die Bereitstellung für die Kommissionierung. Die Kanäle des Nachschubs und der Kommissionierung sind mit einer gegenläufigen Neigung versehen. Damit finden die eigentliche Kommissionierung und der Nachschub auf zwei getrennten Seiten statt. Nachschub und Kommissionierung können zeitgleich ablaufen, ohne dass sie sich gegenseitig behindern.

**Flächenoptimierung, Schubmaststapler, 150 Paletten/h Normallager**

Fläche in %



# Technik und Wirtschaftlichkeit



In Fließlager wird die Schwerkraft genutzt, um die Ladeeinheiten vom Input zum Output zu transportieren. Antriebsmotoren sind hierfür nicht erforderlich und somit entfallen aufwendige Steuerungs- und Regelungsaufgaben. Für Fließlager werden weitgehend Standardkomponenten eingesetzt, so dass eine einfache Ersatzteillogistik praktiziert werden kann. Sofern für die genutzten Teile Qualitätskomponenten eingesetzt werden, ist von einer langen technischen Lebensdauer auszugehen. Auch hier gilt die Basiserfahrung der Logistik, nämlich dass Qualität seinen Preis hat, jedoch das sich diese Mehrinvestition für den Betreiber mittel- und langfristig auszahlt.

Die Instandhaltung ist auf Grund der eingesetzten Standardkomponenten, der einfachen Beherrschbarkeit des Systems und der Transparenz mit geringem Aufwand zu realisieren. Fließlager weisen eine hohe Robustheit auf und sichern für jeden Betreiber nachhaltig eine Qualitätslogistik.

Der Konstruktion der eingesetzten Rollen kommt bei Fließlagern eine entscheidende Bedeutung zu. Sie müssen einen parallelen und ruhigen Lauf der Ladeeinheiten sicherstellen. Gleichzeitig ist eine geringe Neigung der Regalanlage nur zu erreichen, wenn besonders

leichtlaufende Rollen verwendet werden. Leichtlaufende Rollen haben zudem eine niedrige Geräuscentwicklung. Bei Kanallängen von bis zu 60 m führt der Neigungsgrad der Kanäle zu einem systembedingten nicht genutzten Freiraum über und unter der Regalanlage. Diese Situation reduziert den Nutzungsgrad des Bauvolumens.

Grundsätzlich gilt, dass bei der Auswahl eines geeigneten Regaltyps neben den konstruktiven und technischen Merkmalen auch die damit verbundenen Auswirkungen auf den Energiebedarf für den Transport und die Klimatisierung des Gebäudes einzubeziehen sind.

Die Grundlagen für ein energieeffizientes Lagersystem werden bereits im Stadium der Planung festgelegt. In dieser Phase werden die wesentlichen Entscheidungen über die Abmessungen und die Gestaltung des Gebäudes getroffen, die eng mit der ausgewählten Regaltechnik und Bedientechnik verknüpft sind. Die festgelegte und umgesetzte Gebäudestruktur ist nachträglich nur noch mit hohem Aufwand revidierbar oder an geänderte Anforderungen anzupassen. Aus diesem Grund ist während der Planung sorgfältig und auch mit Blick auf zukünftig mögliche Veränderungen zu entscheiden.

**Gesamtkostenoptimierung, Schubmaststapler, 5.000 Paletten,  
150 Paletten/h**

Temperatur	Gesamtkosten in %	
	Einzelplatzregal	Fließlager
Normallager	100	81
Frischelager	116	94
Tiefkühlager	139	111

Vor dem Hintergrund eines energieeffizienten Lagersystems ist vor allem das Bauvolumen zu prüfen. Ausschlaggebender Punkt ist an dieser Stelle, dass der Energiebedarf insbesondere durch das Heizen oder Kühlen des Gebäudes geprägt ist.

Eine überdimensionierte Gebäudehöhe, die durch die Regalanlage und auch die eingesetzten Flurförderzeuge nicht ausgenutzt wird, führt zu ungenutztem Volumen, das jedoch geheizt bzw. gekühlt werden muss. Es ist zu beachten, dass mit einer zunehmenden Grundfläche auch die Bedeutung einer optimalen Gebäudehöhe steigt. Für die Dimensionierung der einzelnen Bereiche im Lagersystem gilt, dass die Gesamtfläche des Gebäudes entsprechend der jeweiligen Bedarfe für Regalanlage, Lagervorfeld und Verladezone gewählt wird. Dadurch werden neben einem optimalen Bauvolumen auch kürzere Transportwege bei der Verknüpfung von Lagerkern, Lagervorfeld und Verladezone erreicht und der Energiebedarf beim Betrieb durch kürzere Fahrzeiten der Transporttechnik gesenkt.

Das Thema Energieeffizienz spielt im Rahmen der innerbetrieblichen Logistik nicht mehr nur in gewissen Bereichen eine Rolle, sondern wird übergreifend betrachtet. Eine energieeffiziente Gestaltung eines Lagersystems bedeutet, schon im Rahmen der Planung eine Vielzahl von Merkmalen des späteren Betriebs zu berücksichtigen. Neben der Verwendung von bestimmten Materialien, Regaltypen und Be-dientechniken spielt auch die Dimensionierung des Gesamtsystems eine entscheidende Rolle.

Fließlager führen zu einem hohen Raumnutzungsgrad und senken den Energiebedarf für das Heizen bzw. Kühlen und die Beleuchtung. Zudem sinken die Investitionen für das Gebäude und die Gebäudeausstattung. Verbunden mit kürzeren Fahrwegen innerhalb des Lagersystems sind neben einem geringeren Energiebedarf auch Einsparungen bei den Personalkosten möglich.

# Fazit

Das Fließlager weist bei der Betrachtung der Gesamtkosten im Vergleich zum Einzelplatzregal logistische und wirtschaftliche Vorteile auf. Das Fließlager ist immer dann in die Entscheidungsfindung miteinzubeziehen, wenn Mittel- und Schnelldreherpaletten vorliegen und eine nennenswerte Kanalkapazität gegeben ist.

Für energieintensive Lageraufgaben, z. B. für die Lagerung von Frische- und Tiefkühlwaren, bieten Fließlager gleichermaßen ökologische und ökonomische Vorteile. Diese Vorteile haben dazu geführt, dass sich zur Lösung ihrer logistischen Aufgabenstellungen namhafte Unternehmen aller Branchen für das Fließlager entschieden haben.

Die vorliegenden Kennzahlen und Kennlinien unterstützen die Entscheidung für eine Lagertechnik. Um fallspezifische Ergebnisse zu gewinnen, wird derzeit ein Softwaretool am Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover entwickelt. Es wird die Möglichkeit bieten, projektspezifische Daten vorzugeben und nach verschiedenen Zielgrößen zu optimieren. Planungsrelevante Ergebnisse, wie die Investitionen, die Gesamtkosten und der Flächenbedarf, werden unmittelbar in ihrer absoluten Höhe zur Verfügung gestellt.

**Gesamtkostenoptimierung, Schubmaststapler, 5.000 Paletten, 150 Paletten/h Normallager**

	Angaben in %	
	Einzelplatzregal	Fließlager
Investition	100	117
Gesamtkosten	100	81
Energiekosten	100	60
Fläche	100	84
Volumen	100	55
Personalkosten	100	60

# Autoren

## **Prof. Dr.-Ing. Lothar Schulze**

Leiter des Fachgebietes Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover. Gastprofessor an der Southeast University Nanjing, China, und am SP Jain Center of Management, Dubai und Singapur.

## **Prof. Dr. Lindu Zhao**

Leiter des Institute of Systems Engineering an der Southeast University Nanjing, China. Gastprofessor an der Leibniz Universität Hannover.

## **Dr.-Ing. Li Li**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover. Lehrbeauftragte an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

## **Dipl.-Ing. oec. Daniel Knopp**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover.

# Sponsor

Das vorliegende Whitepaper ist das Ergebnis der ersten Stufe unseres Forschungsprojektes, bei dem es um die Berechnung von Leistungsdaten von Distributionszentren für schnell und mittelschnell drehende Güter geht.

Das Whitepaper entstand unter der Führung der Leibniz Universität in Hannover (D) mit Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Schulze vom Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen (PSLT) als wissenschaftlichem Leiter und der Mitwirkung der Southeast University Nanjing mit Prof. Dr.-Ing. Lindu Zhao vom Institute of Systems Engineering als Partner im chinesischen Markt. Zudem wurden verschiedene internationale Logistikexperten und Anwender befragt, um die Praxisrelevanz und Validität der Fakten noch zu steigern.

Im nächsten Schritt soll ein Simulations-Tool entwickelt werden, welches Eckdaten wie Durchsatz, Anzahl Beschäftigte, Betriebs- und Energiekosten usw. auswertet und zuverlässige Prognosen

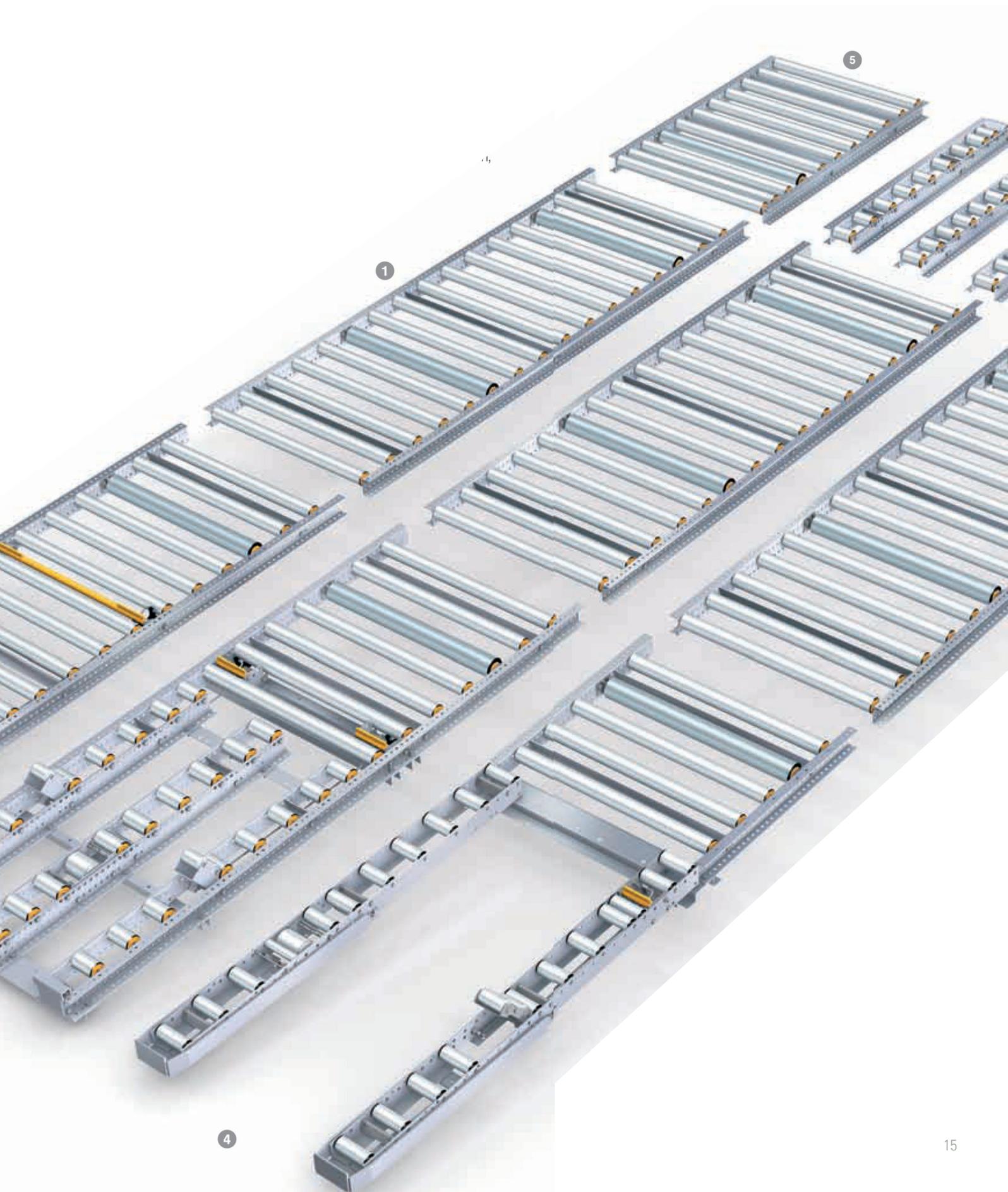
betreffend Energiebilanz, Optimierungsmöglichkeiten, Gesamtbetriebskosten und Kapitalrückflusszeit ermöglicht.

Mit dem Whitepaper und dem Projekt-Simulations-Tool möchte Interroll Planern und Betreibern von Distributionszentren weltweit einen entscheidenden Mehrwert bieten.

Interroll ist ein weltweit führender Hersteller von Schlüsselprodukten für interne Logistik. Diese finden sich vor allem in der Lebensmittelverarbeitung, Flughafenlogistik, Kurier/Express/Post-Unternehmen, Distributionszentren und verschiedenen Industriezweigen. Das börsennotierte Unternehmen mit Hauptsitz im schweizerischen Sant'Antonino bedient über 23.000 Kunden auf allen Kontinenten und beschäftigt 1.500 Personen in 29 Betrieben weltweit.

[interroll.com](http://interroll.com)





1

5

4



Lager- und Transportsysteme (PSLT)  
Leibniz Universität Hannover  
Callinstraße 36  
30167 Hannover  
Te: +49 (0) 511/762-4885  
Fax: +49 (0) 511/762-3005  
mail@pslt.uni-hannover.de  
www.pslt.uni-hannover.de