

Knowledge-based Engineering zur Grobplanung und Gestaltung automatisierter Hochregallager

Diplomarbeit

von

Alexander Pichler

Betreuer der Diplomarbeit:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk JODIN
Institut für Technische Logistik

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, November 2011



ABSTRACT

Assigned tasks in modern Engineering constantly grow in complexity. The developed products, on the other side, are forced to be more flexible and have to be modified or adapted in reduced intervals. These facts increase the possible susceptibility to fault when using conventional planning and development methods. Knowledge-based Engineering (KBE) can provide a solution to a wide range of these problems. By the use of secured sets of rules and computer-based algorithms the fault tolerance and development time can be reduced to a minimum.

The given thesis describes the implementation, named the HRL-Tool, of a KBE solution for the rough planning and design of automated high-rack warehouses. This computer- and knowledge-based planning and development environment calculates, after parsing all relevant parameters, all needed and relevant data according to established standards and guidelines. For purposes of visual representation, the calculated results are being fed to a 3D-CAD program. The HRL-Tool bases its calculation on data, evaluated in a market research including 14 companies, describing state of the art shelf systems and stacker cranes. The Performance data, in particular the through puts, is computed using the guideline FEM 9.851 of the Européenne de la Manutention.

The HRL-Tool shows that the time, spent for planning and development can be dramatically reduced in the field of technical logistics by the use knowledge-based technologies. Concepts computed using the HRL-Tool provide reliable data in early states of the development process in rather short time.

KURZFASSUNG

Die Aufgabenstellungen des modernen Maschinenbaus werden ständig komplexer. Die Entwicklungen sollen jedoch zugleich auch immer flexibler und in immer kürzer werdenden Intervallen modifiziert oder adaptiert werden. Diese Faktoren steigern die Fehleranfälligkeit dieser Systeme beim Einsatz konventioneller Planungs- und Entwicklungsmethoden. Knowledge-based Engineering (KBE) kann für eine Vielzahl dieser Probleme eine entsprechende Lösung bieten. Durch die Verwendung abgesicherter Regelwerke und die computergestützten Algorithmen können Fehler reduziert und die Entwicklungszeiten minimiert werden.

Die vorliegende Arbeit behandelt die Implementierung einer KBE-Lösung zur Grobplanung und Gestaltung automatisierter Hochregallager, die unter dem Arbeitstitel „HRL-Tool“ realisiert wurde. Diese rechnergestützte, wissensbasierenden Planungs- und Gestaltungsumgebung führt nach Abfrage relevanter Parameter die einschlägigen, durch Normen und Richtlinien definierten, Berechnungen durch und überführt die Ergebnisse an ein 3D-CAD Programm, um die Lösung graphisch darzustellen. Das HRL-Tool verwendet zur Auslegung der Hochregallager bestehende Regalsysteme und Regalbediengeräte, die in einer Marktrecherche, die 14 Hersteller umfasst, erfasst wurden. Die Durchsatzbestimmung erfolgt basierend auf der Richtlinie FEM 9.851 der Fédération Européenne de la Manutention.

Das HRL-Tool zeigt, dass die Anwendung von wissensbasierenden Konstruktionen im Bereich der technischen Logistik die Planungs- und Entwicklungszeit drastisch reduzieren kann. Muss man bei Verwendung konventioneller Methoden für die Grobplanung eines Regallagers noch mehrere Stunden aufwenden, ist es mit Hilfe des HRL-Tools möglich, diese Zeit auf wenige Minuten zu verringern. Der einfache und schnelle Entwurf mehrerer Varianten und Konzepte zu einer gegebenen Problemstellung bietet verlässliche Daten schon in einem frühen Entwicklungsstadium.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Zieldefinition	1
1.2	Elektronische Dokumentation.....	1
2	GRUNDLAGEN	2
2.1	Knowledge-based Systems.....	2
2.1.1	Grundlegende Funktionsweise.....	2
2.1.2	Knowledge-based Engineering.....	3
2.2	Lagerung im automatischen Lager	4
2.2.1	Hochregallager (HRL)	5
2.2.2	Automatisches Kleinteilelager (AKL)	6
2.2.3	Aufbau von Fachregallagern.....	6
2.2.4	Freimaße	9
2.2.5	Regalvorzone.....	12
2.2.6	Regalförderzeuge.....	13
2.2.7	Ladehilfsmittel.....	15
2.3	Lagerdimensionierung	17
2.4	Durchsatzbestimmung.....	17
2.4.1	FEM 9.851	17
2.4.2	Lagerspiele	17
2.4.3	Regalwandparameter.....	22
2.4.4	Wegzeitberechnung.....	23
2.4.5	Testpunkte.....	24
2.4.6	Sonderfall: Zweifachtiefe Lagerung bei einfachtiefer Regalgasse	25
2.5	Lagerkennzahlen	27
2.5.1	Dynamische Lagerkennzahlen	27
2.5.2	Statische Lagerkennzahlen	27
3	KONZEPTION DES HRL-TOOLS.....	29
3.1	Marktanalyse.....	30
3.2	Das Hochregallager als System.....	31
3.2.1	Systemgrenzen	32
3.2.2	Aufbau des Hochregallagers	33
3.3	Dimensionierungsalgorithmus	36
3.4	Technologische Evaluierung	37
3.4.1	Programmkern und Datenspeicher.....	38
3.4.2	3D-Modellierungssoftware.....	38
4	KONKRETE UMSETZUNG	40
4.1	Verwendeter Dimensionierungsalgorithmus	42
4.2	RBG-Clustering.....	44

4.3	3D-Modell	45
4.3.1	Skelett-Modell	46
4.3.2	Gesamtbaugruppe	47
4.3.3	Gangmodul.....	48
4.4	Manipulation des 3D-Modells	49
4.5	Programmaufbau	50
4.6	Projektverwaltung	52
4.7	Konfigurierungsmöglichkeiten	53
4.7.1	Erforderliche Einstellungen	53
4.7.2	Optionale Einstellungen	54
5	BEISPIELAUSFÜHRUNG	55
5.1	Projekt Erstellen	55
5.2	Parametereingabe	56
5.3	Projektauslegung	58
5.4	Ergebnis/Projektexport	59
6	AUSBLICK	62
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	63
8	TABELLENVERZEICHNIS	65
9	LITERATURVERZEICHNIS	66
10	GLOSSAR	67
11	ANHANG	68

1 EINLEITUNG

Kürzere Produktlebenszyklen und Änderungsintervalle fordern von bestehenden Konstruktionen immer höhere Flexibilität, die mit konventionellen Planungs- und Entwicklungsmethoden kaum noch zu bewältigen sind. Nicht nur im Bereich der Materialflusstechnik, sondern in nahezu allen technischen Bereichen sollen Planungszeiten und -kosten reduziert werden, um im globalen Wettbewerb standhalten zu können.

Diese Aufgabenbereiche ergeben die Notwendigkeit leistungsfähiger Systeme, die eine rasche Entwicklung gestatten und zur Auslegung abgesicherte, nachvollziehbare Regelwerke verwenden, um die Fehleranfälligkeit zu minimieren.

Die wissensbasierende Konstruktion ermöglicht eine Abhilfe für eine Vielzahl dieser Problemstellungen. Knowledge-based Engineering Systeme ermöglichen dem Anwender eine einfache Manipulation und Verwaltung des bestehenden Wissens und bieten Unterstützung bei der Analyse der komplexen Strukturen heutiger Konstruktionen.

1.1 Zieldefinition

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer rechnergestützten, wissensbasierenden Planungs- und Gestaltungsumgebung, die nach Abfrage relevanter Parameter die einschlägigen, durch Normen und Richtlinien definierten, Berechnungen durchführt und die Ergebnisse an ein 3D-CAD Programm überführt, um die Lösung graphisch darzustellen. Die Ergebnisse der Berechnung sind in tabellarischer Form zu erfassen und sollen als Projekt gemeinsam gespeichert werden können, um Varianten und Alternativen erzeugen zu können. Das im Zuge dieser Arbeit entworfene und umgesetzte Programm läuft unter dem Arbeitstitel „HRL-Tool“.

Da die Auslegung nur anhand einer Grobplanung erfolgen soll, müssen die Regale und die Regalbediengeräte nicht bis ins Detail dimensioniert werden. Die entsprechenden Geräte und Elemente sollen anhand entsprechender Zwischenergebnisse aus marktgängigen Katalogen übernommen und in passenden Dimensionen dargestellt werden.

1.2 Elektronische Dokumentation

Dieser Arbeit liegt eine elektronische Dokumentation in Form einer CD-ROM bei, die folgende Dateien enthält:

- Dokumentation der Arbeit im pdf-Format
- HRL-Tool
- Demonstrationsvideo

2 GRUNDLAGEN

Der folgende Abschnitt umfasst eine Einführung zur Thematik Knowledge-based Engineering sowie die grundlegenden technischen Rahmenbindungen, die zur Auslegung eines automatisierten Regallagers benötigt werden.

2.1 Knowledge-based Systems

Knowledge-based Systems (KBS) sind Computerprogramme oder Anwendersoftware, die durch die Nutzung von Programmlogiken (oder auch künstlicher Intelligenzen) komplexe Probleme lösen können. Diese Probleme sind meist redundanter Natur und müssen ohne KBS von Personen mit spezialisiertem Wissen gelöst werden. Die grundlegende Programmlogik wird meist von den Lösungsprozessen dieser Personen abgeleitet, weshalb sie auch als Expertensysteme bezeichnet werden.¹

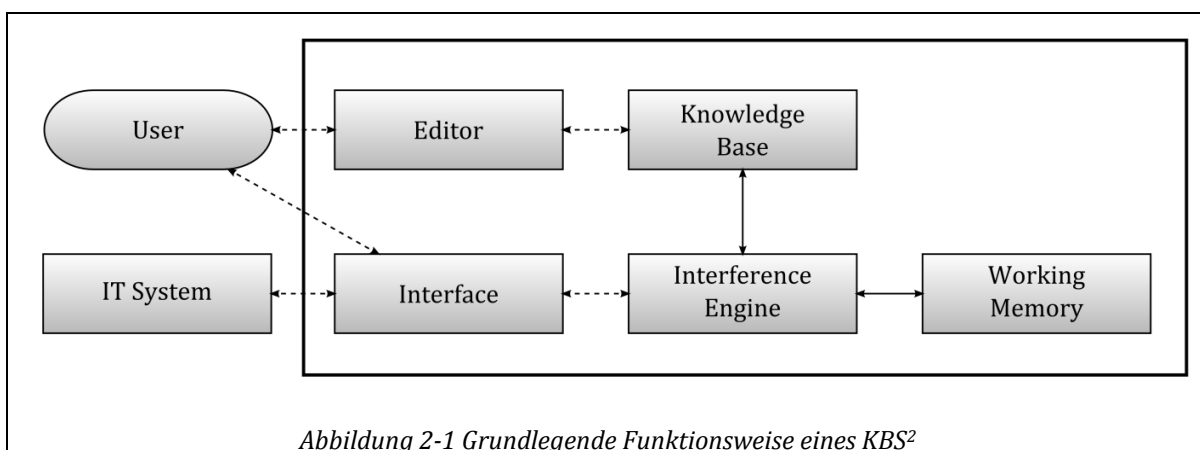
2.1.1 Grundlegende Funktionsweise

Knowledge-based Systems basieren auf der Interpretation von Informationen, die auf Grund von spezifizierten Regeln und Strukturen in Beziehung zueinander gesetzt wurden. Als Ergebnis eines KBS kann diese Interpretation unter Einbeziehung einer spezifizierten Ausgangssituation und der Randbedingungen gesehen werden.

Bei der Implementierung eines KBS ist eine strikte Trennung der einzelnen Komponenten zweckdienlich. Vor allem sollte das verwendete Wissen an sich von der Interpretation des Wissens getrennt werden. Dies vereinfacht eine Wiederverwendung des Wissens, auch wenn sich der technologische Standpunkt und somit die Interpretation geändert hat.

Weiters sollte auch noch auf eine exakte Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten geachtet werden.

Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems zeigt Nick. R. Milton in Knowledge Technologies.



¹ [MIL08], S.20

² [MIL08], S.23

Milton definiert die drei Hauptkomponenten eines KBS als:³

1. **Knowledge Base (KB):** Die KB beinhaltet problemspezifische Information, Strukturen und Regeln
2. **Working Memory („blackboard“):** In diesem Teil des KBS werden die Ausgangssituation und Zwischenergebnisse eines bestimmten Szenarios gespeichert.
3. **Inference Engine:** Die Inference Engine kontrolliert die Problemlösung. Sie zieht auf Grund der, in der Knowledge Base hinterlegten Informationen und Regeln Rückschlüsse und manipuliert den Inhalt des Working Memorys.

Des Weiteren beinhalten moderne Systeme noch zwei zusätzliche Bestandteile:⁴

1. **Interface:** Das Interface bildet die Schnittstelle zwischen dem Computersystem und dem Benutzer.
2. **Editor:** Mit Hilfe des Editors kann ein Benutzer auf die Knowledge Base zugreifen und sie manipulieren.

2.1.2 Knowledge-based Engineering

Knowledge-based Engineering Systeme (KBE Systeme) sind eine Spezialisierung der Knowledge-based Systeme. Zusätzlich zu den Komponenten, die ein KBS beinhaltet, wird der Funktionsumfang um Aspekte des Computer-aided Design (CAD) und diverse Berechnungs- und Analyseverfahren erweitert.⁵

So umfassen viele KBE-Applikationen die Möglichkeit, CAD-Daten direkt oder über eine Schnittstelle zu manipulieren oder zu generieren. Die CAD-Daten werden hierbei den spezifizierten Anforderungen angepasst.

Nach P.J. Lovett beinhalten KBE-Applikationen Aspekte der folgenden Bereiche:⁶

- **Geometrie:**
Komponentengeometrie, aber auch die Platzierung von Bauteilen oder Braugruppen untereinander.
- **Konfiguration:**
Bestimmt das Auftreten oder die Häufigkeit einzelner Komponenten.
- **Technisches Wissen („Engineering Knowledge“):**
z.B. Materialeigenschaften, Festigkeitsberechnungen etc.

³ [MIL08], S.23

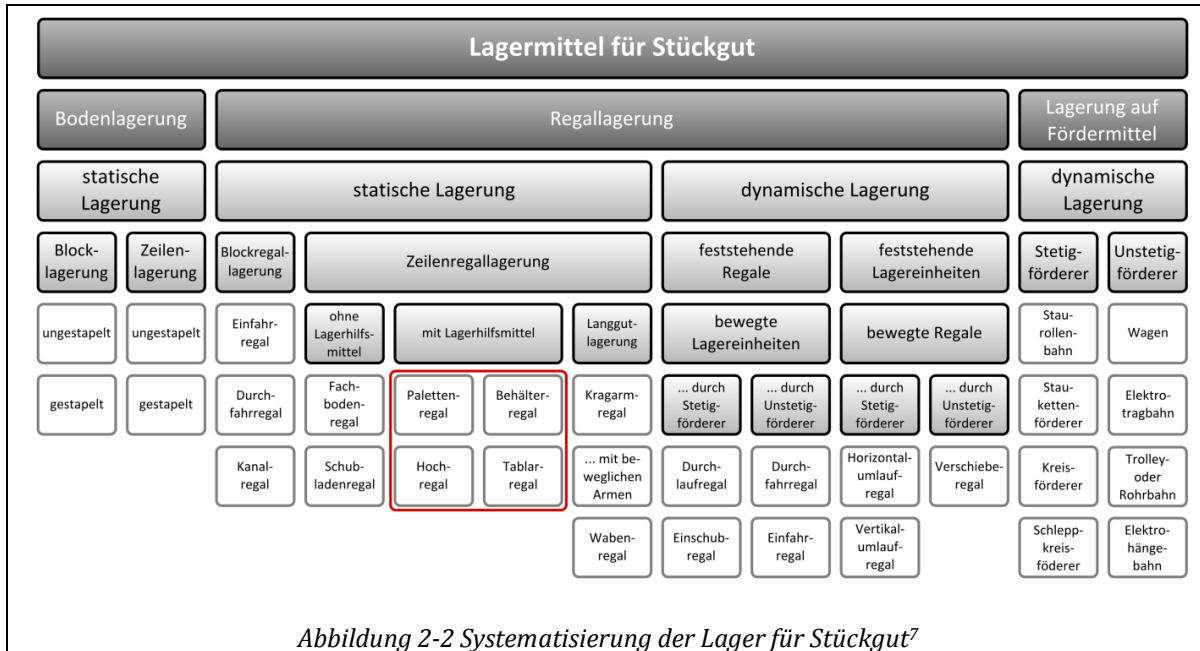
⁴ [MIL08], S.3f

⁵ [MIL08], S.41

⁶ [Lov00], S.384f

2.2 Lagerung im automatischen Lager

Die Systematisierung der Lagerung kann auf viele Arten erfolgen – eine mögliche Variante der Lagermöglichkeiten für Stückgüter zeigt Abbildung 2-2 nach Jodin. Von Relevanz sind hierbei die in der statischen Zeilenregallagerung mit Lagerhilfsmittel eingeordneten Punkte „Palettenregal“, „Behälterregal“ und „Hochregal“, da nur diese Lagertypen im HRL-Tool bearbeitet werden.



Aus den Anforderungen an ein Lager ergeben sich die folgenden Kernprozesse⁸

1. **Einlagern** der Lagereinheit mit einem Lagergerät
2. **Lagerung:** Aufbewahren und Bereithalten der Lagereinheit auf den Lagerplätzen
3. **Auslagern** der Lagereinheit mit dem Lagergerät

Zusätzlich zu diesen Kernprozessen ergeben sich die Zusatzprozesse⁹

- Warenannahme
- Identifikation
- Versand

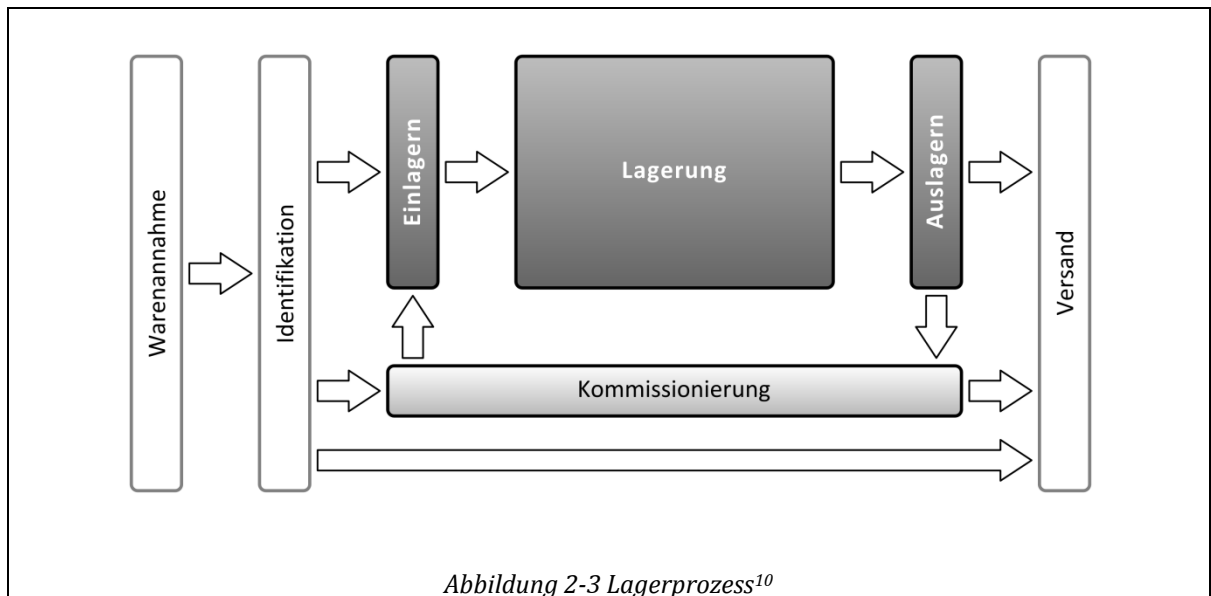
und als optionaler Prozess die Kommissionierung der entsprechenden Lagereinheiten.

Für das HRL-Tool sind nur die drei in Abbildung 2-3 (Seite 5) dargestellten, Kernprozesse von grundlegender Bedeutung. Die Zusatzprozesse finden außerhalb der im HRL-Tool definierten Systemgrenzen (Seite 32) Beachtung.

⁷ [Jod12], S.53

⁸ [Jod12], S.49 und [GUD10], S.565

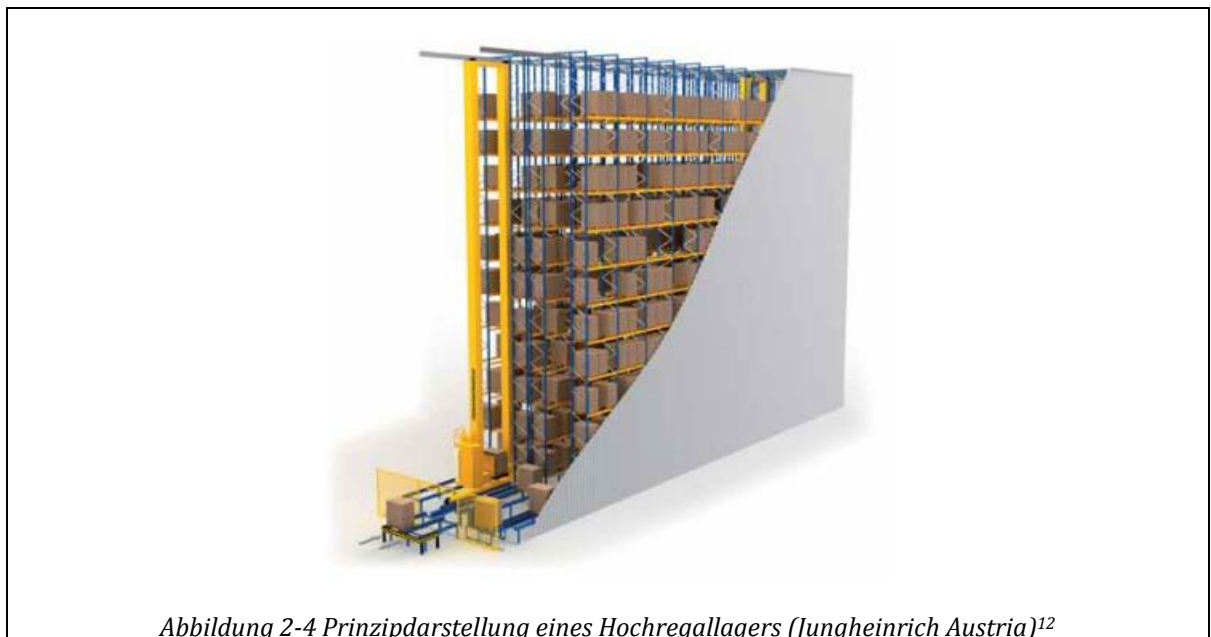
⁹ [Jod12], S.49



2.2.1 Hochregallager (HRL)

Unter dem Begriff Hochregallager sind Palettenregallager zu verstehen, die eine Höhe von 12 Metern überschreiten. Das Regal ist fest eingebaut und meist durch automatische Regalbediengeräte bedient. In der Regel sind sie in Silobauweise ausgeführt und erfüllen nur die Funktion als Lager und integrieren somit keine Produktionsfunktionen.¹¹

Abbildung 2-4 zeigt ein Hochregallager der Firma Jungheinrich Austria.



¹⁰ [Jod12], S.49

¹¹ [Jod12], S.86 und [HVB07], S.64f

¹² [Jun11], S.17

2.2.2 Automatisches Kleinteilelager (AKL)

Die VDI Richtlinie 3630 definiert das automatische Kleinteilelager als ein System, das normierte Ladehilfsmittel in einem automatisierten Prozess transportiert und lagert. Hinsichtlich der Regalabmessungen wird im Gegensatz zu Hochregallagern keine Unterscheidung gemacht.¹³

In der Regel sind AKL jedoch mit einer Regalhöhe von 4 bis 12 Metern (in Sonderfällen bis zu 30 Metern) ausgeführt. Bei den normierten Ladehilfsmitteln handelt es sich meist um Behälter (bis zu 600x400mm, maximale Nutzlast 30kg) oder Tablare (Nutzlast bis zu 300kg).¹⁴

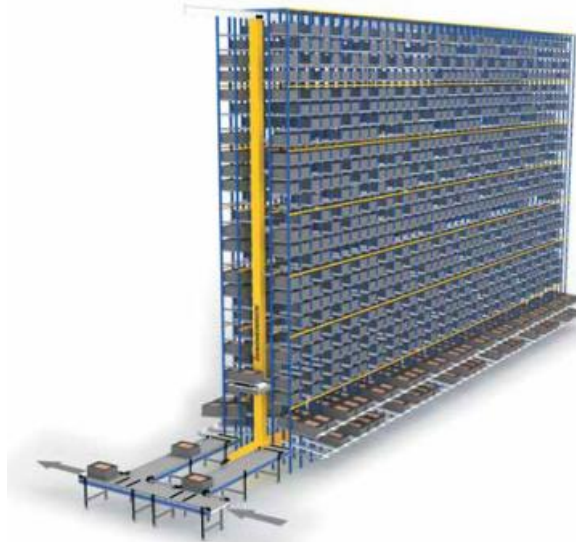


Abbildung 2-5 Prinzipdarstellung eines automatischen Kleinteilelagers (Jungheinrich Austria)¹⁵

2.2.3 Aufbau von Fachregallagern

Fachregallager, zu denen die AKL und HRL zählen, bestehen aus einzelnen Fachmodulen (FM), die einen oder mehrere Lagerplätze enthalten. Die Fachmodule werden innerhalb der Regalkonstruktion zu Regalscheiben zusammengefügt. Zwei Regalscheiben bilden mit der Regalgasse ein Gangmodul (GM). Das Fachregallager besteht in letzter Instanz aus einem oder mehreren Gangmodulen.¹⁶

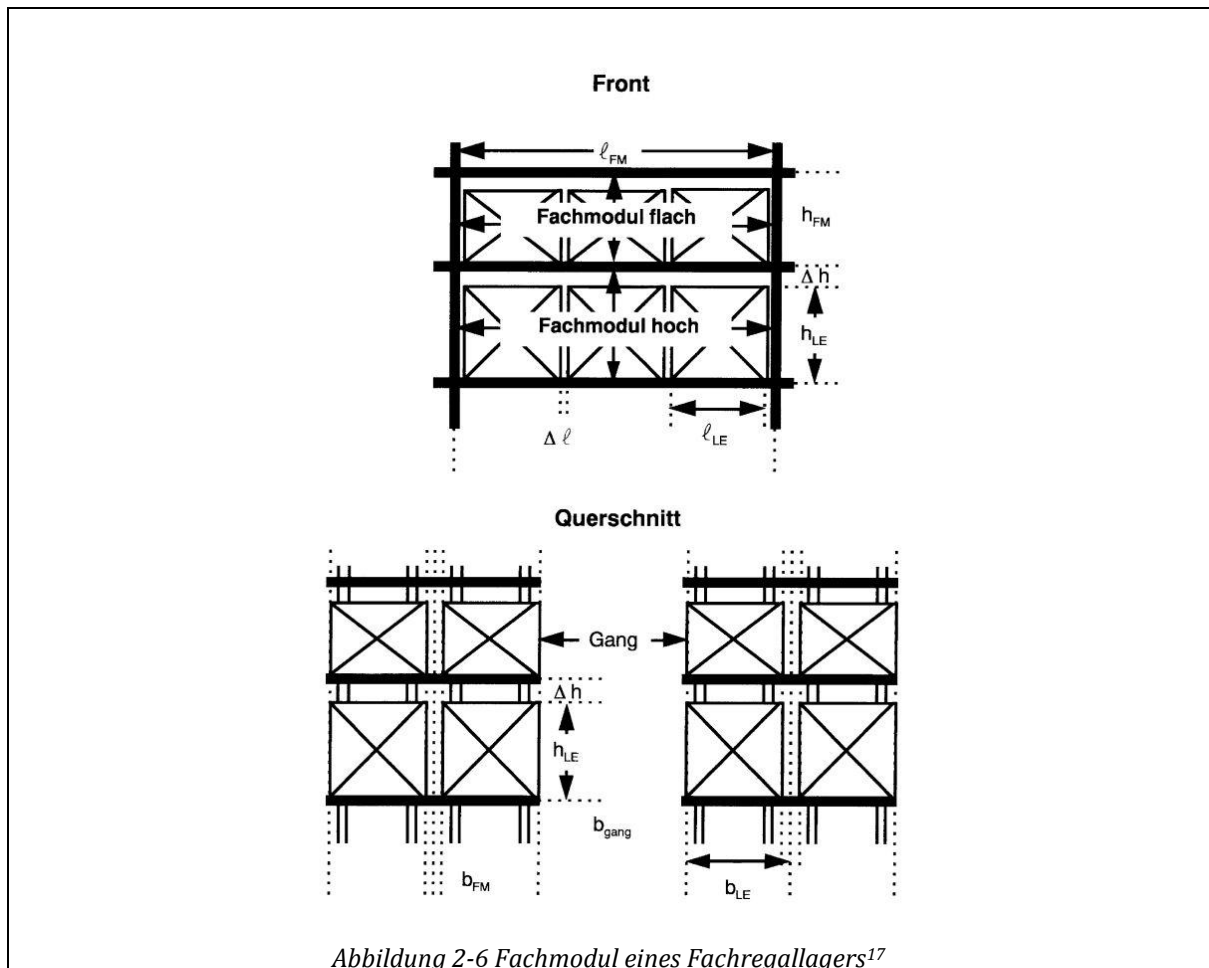
Abbildung 2-6 zeigt den Aufbau und die charakteristischen Abmessungen (h_{FM} , l_{FM} , b_{FM}) eines Fachmoduls sowie die darin enthaltenen Ladeeinheiten (h_{LE} , l_{LE} , b_{LE}).

¹³ [VDI06], S.2

¹⁴ [Jod12], S.98

¹⁵ [Jun11], S.35

¹⁶ [GUD10], S.577



Beim Aufbau der Fachmodule muss zwischen einfachtiefer und doppelt- bzw. mehrfachtiefer Lagerung unterschieden werden. Ist das Fachregallager in einfachtiefer Lagerung ausgeführt, stehen alle Ladeeinheiten im direkten Zugriff – die Bedienung erfolgt nach dem FIFO-Prinzip („first in, first out“). Wenn das Fachregallager in doppelt- oder mehrfachtiefer Lagerung ausgeführt ist, sind zwei oder mehr Stellplätze hintereinander angeordnet. Es stehen nur die vordersten Ladeeinheiten im direkten Zugriff. Wird eine verdeckt stehende Ladeeinheit benötigt, müssen die davorstehenden Ladeeinheiten zuerst umgelagert werden. Die Bedienung des Lagers erfolgt demzufolge im LIFO-Prinzip („last in, first out“). Die doppelt- oder mehrfachtiefe Lagerung erhöht die Lagerkapazität um den Faktor der Lagertiefe, verringert jedoch die Umschlagleistung aufgrund der nötigen Umlagervorgänge.¹⁸

¹⁷ [GUD10], S.579

¹⁸ [GUD10], S.578ff

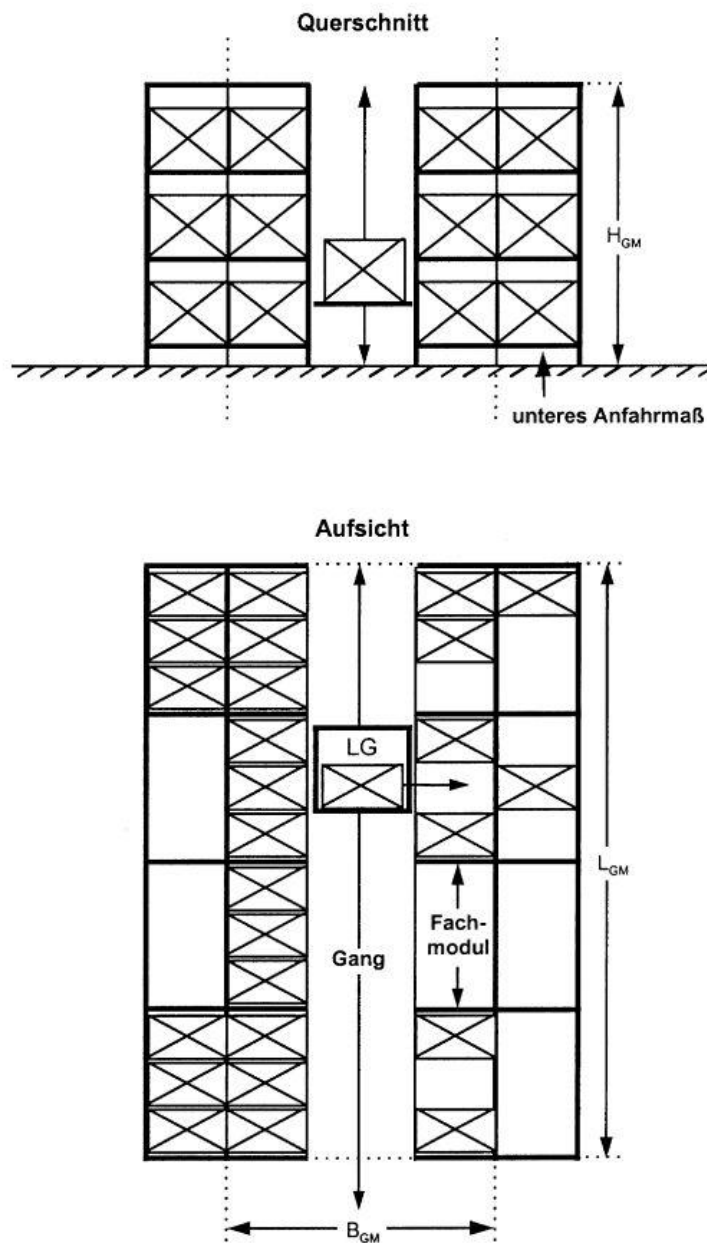


Abbildung 2-7 Gangmodul eines Fachregallagers¹⁹

Das Gangmodul eines Fachregallagers besteht aus zwei Regalscheiben und der Regalgasse, in dem sich das Lagergerät (LG) bewegt. Die charakteristischen Abmessungen eines Gangmoduls sind die Breite des Gangmoduls (B_{GM}), die Höhe (H_{GM}) und die Länge (L_{GM}).

¹⁹ [GUD10], S.580

2.2.4 Freimaße

Bei den Freimaßen muss zwischen den Bereichen Hochregallager (HRL) und automatische Kleinteilelager (AKL) unterschieden werden. Richtlinien zur Errechnung der Freimaße werden sowohl vom Deutschen Institut für Normung (DIN) als auch vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und von der Fédération Européenne de la Manutention (FEM) angeboten.

Im HRL-Tool werden die Richtlinien der FEM verwendet. Für Hochregallager sind sie in der Richtlinie FEM 9.831, für automatische Kleinteilelager in der Richtlinie FEM 9.832 festgelegt.

Beide Richtlinien definieren ein Freimaß als erforderlichen Nennabstand zwischen festen und beweglichen Teilen. Dieser Abstand ist nötig, um Kollisionen auf Grund von Verformungen und Summierung der Einzeltoleranzen zu verhindern.²⁰

Fachfreimaße

Fachfreimaße sind nach FEM 9.831 und FEM 9.832 die nötigen Freimaße zwischen den Ladeeinheiten untereinander sowie zwischen den Ladeeinheiten und der Regalkonstruktion.²¹

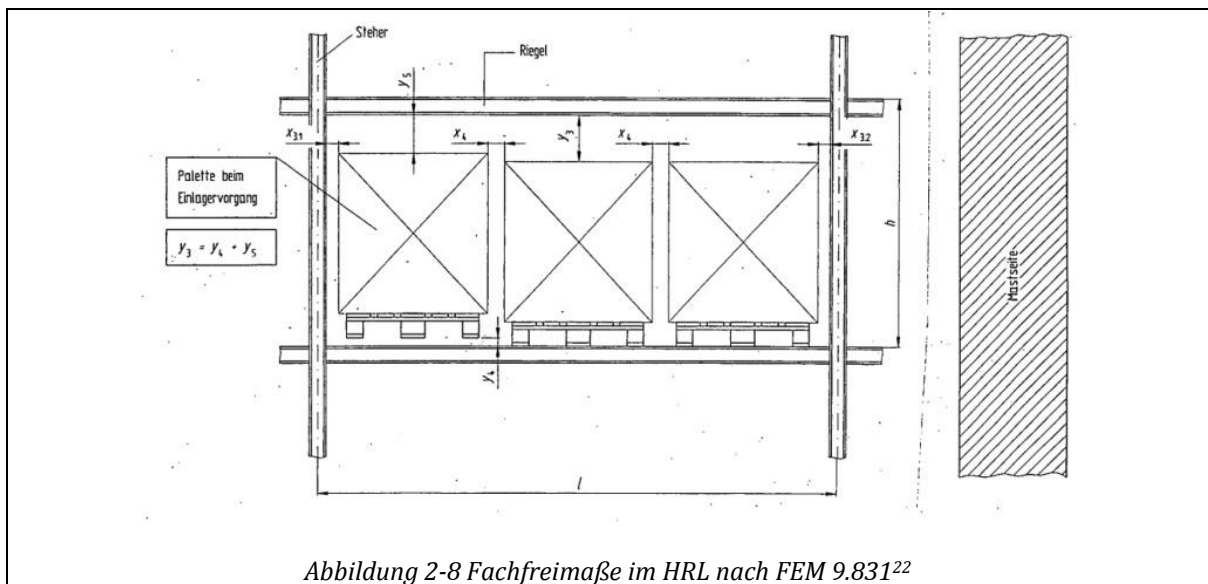


Abbildung 2-8 Fachfreimaße im HRL nach FEM 9.831²²

Tabelle 2-1 Fachfreimaße im Hochregallager nach FEM 9.831²³

x _{3.1}	zwischen den Ladeeinheiten und den Steher, mastabgewandte Seite
x _{3.2}	zwischen den Ladeeinheiten und den Stehern, mastseitig
x ₄	zwischen den Ladeeinheiten untereinander
y ₃	zwischen der Oberkante der eingelagerten Ladeeinheit und der Regalkonstruktion bzw. Störkante (z.B. Sprinkler). Das Fachfreimaß y ₃ setzt sich zusammen aus dem unteren Einfahrmaß y ₄ (Unterkante des angehobenen Ladehilfsmittels bis Oberkante Auflageriegel) plus dem oberen Freimaß y ₅ (Oberkante der angehobenen Ladeeinheit bis Unterkante oberer Riegel)

²⁰ [FEM95], S.3 und [FEM01], S.3

²¹ [FEM95], S.3 und [FEM01], S.3

²² [FEM95], S.15

²³ [FEM95], S.15

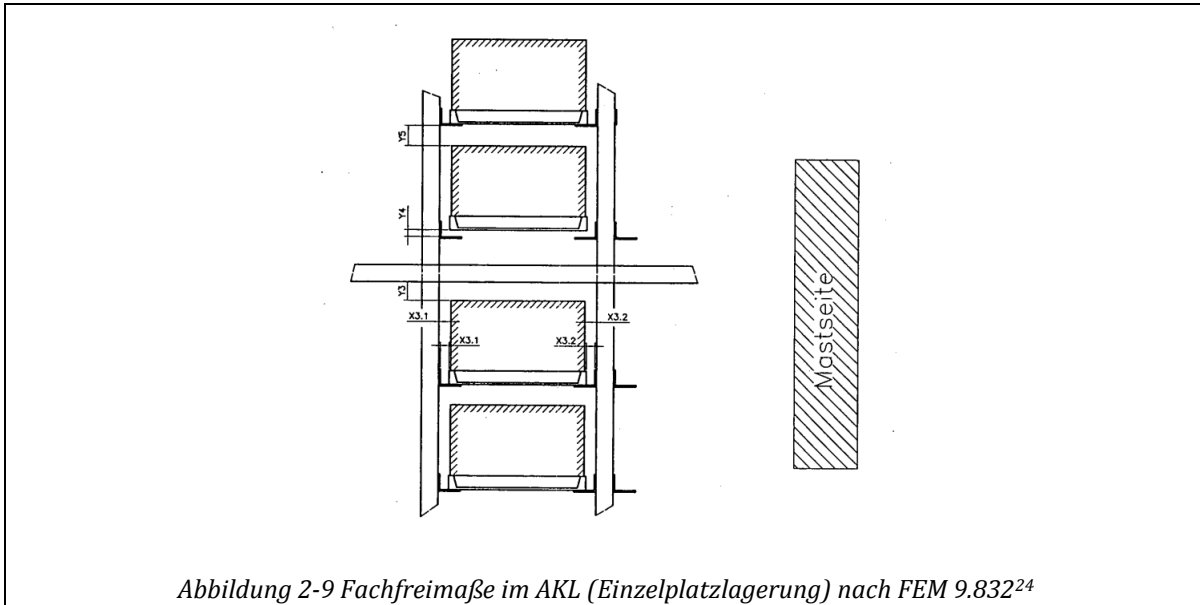
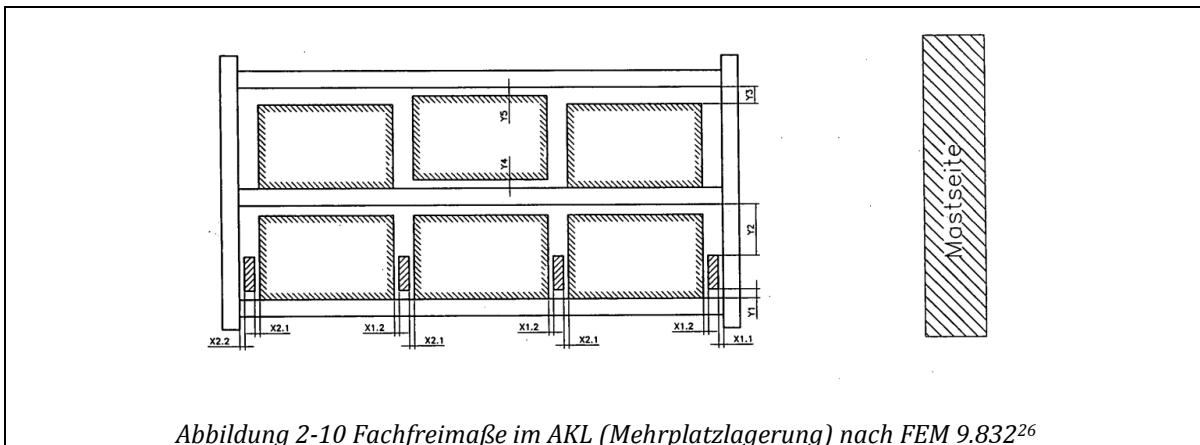


Tabelle 2-2 Fachfreimaße im AKL (Einzelplatzlagerung) nach FEM 9.832²⁵

x _{3.1}	Freimaß zwischen Ladeeinheit und Regalstörkante
x _{3.2}	Freimaß zwischen Ladeeinheit und Regalstörkante
y ₃	Freimaß zwischen Oberkante Last und Regallängsriegel bzw. darüber liegendes Auflageprofil
y ₄	Freimaß zwischen Unterkante Ladeeinheit und Oberkante Auflageprofil
y ₅	Freimaß zwischen Oberkante Ladeeinheit und Unterkante Auflageprofil



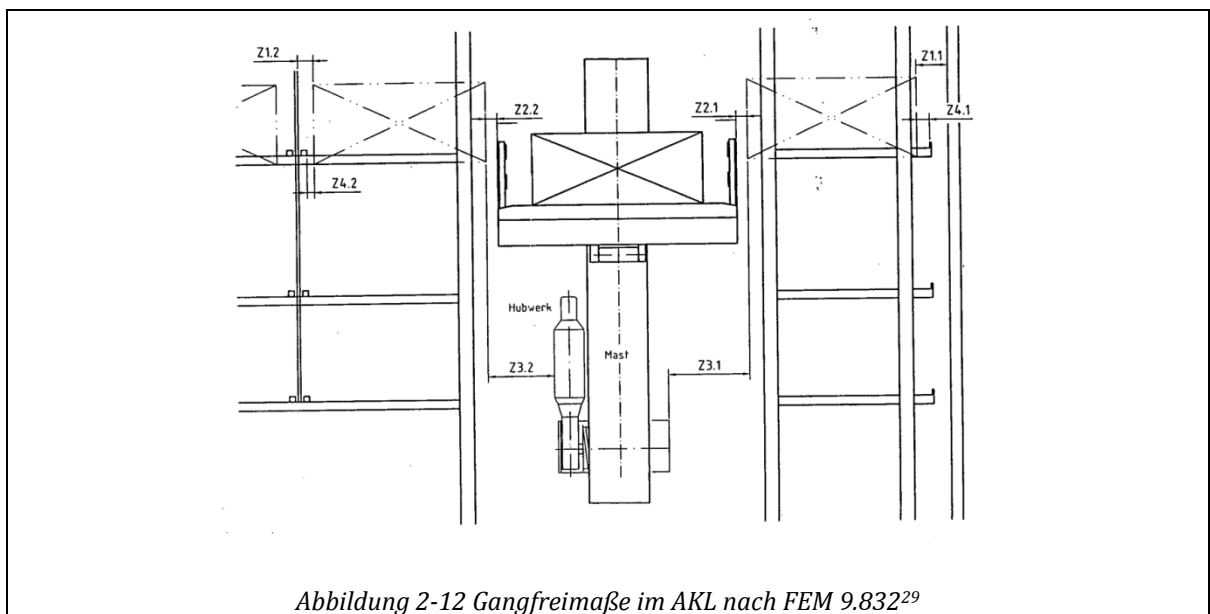
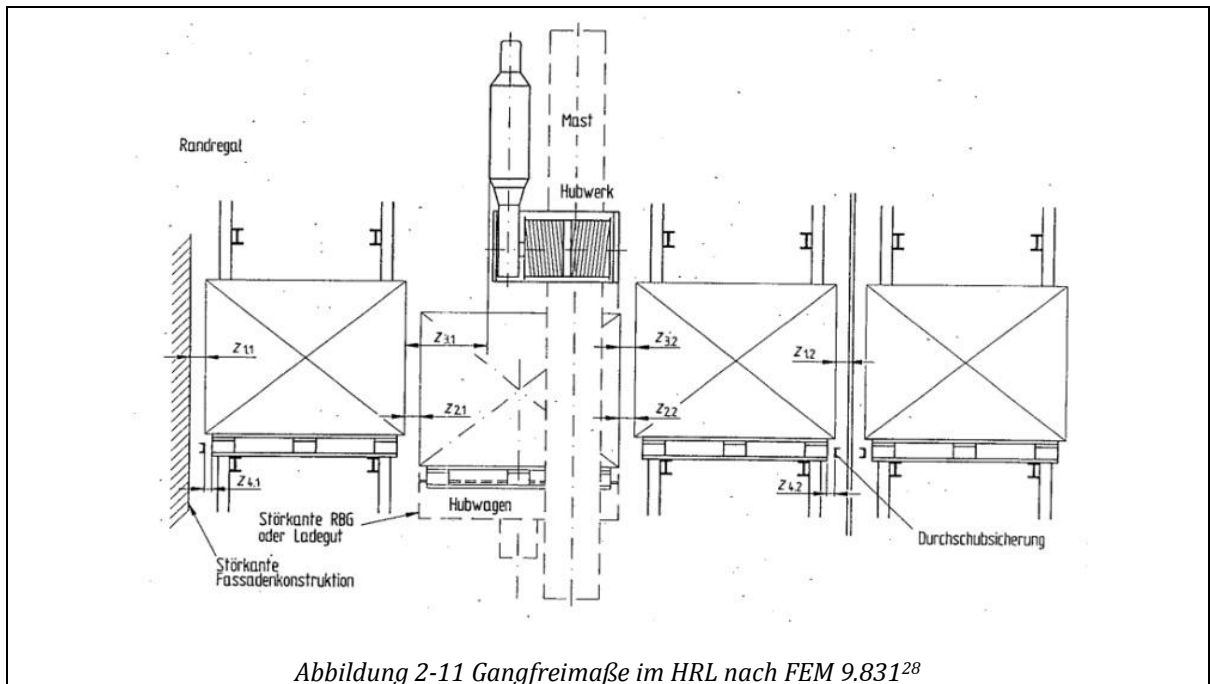
²⁴ [FEM01], S.20

²⁵ [FEM01], S.20

²⁶ [FEM01], S.21

Gangfreimaße

Gangfreimaße sind die nötigen Freimaße zwischen der äußersten Kante des Regalbediengeräts und der äußersten Störkante des Regals. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die äußerste Kante des Regalbediengeräts auch die Ladeinheit sein kann.²⁷



²⁷ [FEM95], S.3 und [FEM01], S.3

²⁸ [FEM95], S.16

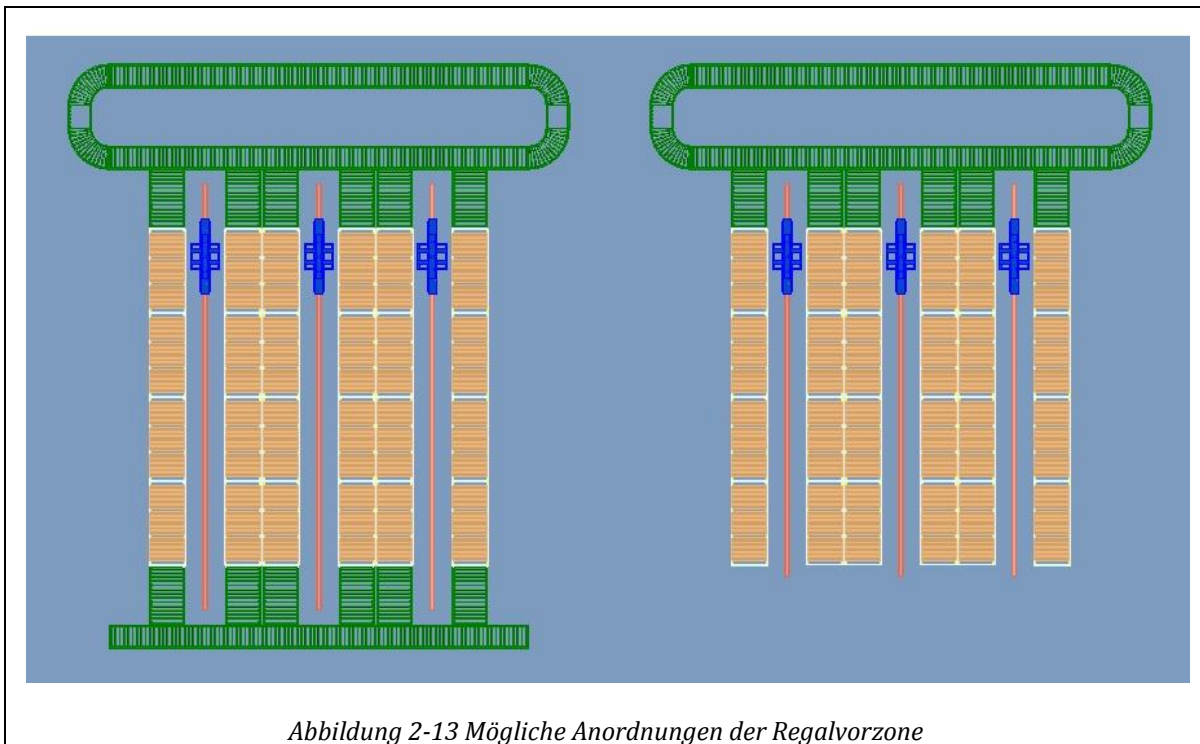
²⁹ [FEM01], S.22

2.2.5 Regalvorzone

Die Vorzone eines Regallagers erfüllt verschiedene Aufgaben. Neben der Verteilung der Ladeeinheiten auf die einzelnen Regalgassen und dem Abtransport in Richtung des Versands oder der Kommissionierung erfüllt die Vorzone auch die Aufgabe als Pufferzone vor den Regalbediengeräten im Sinne eines dynamischen Lagers. Die Leistungsfähigkeit der Regalvorzone wird vor allem von zwei Parametern beeinflusst: der Leistung der Fördertechnik und dem Steuerkonzept.³⁰

Anordnung

Die Anordnung und der Aufbau der Regalvorzone sind je nach Lagertyp und Lagergestaltung unterschiedlich, jedoch ist eine Installation der Regalvorzone an der Stirnseite in den meisten Fällen die dienlichste. Bei einer derartigen Gestaltung fällt der Ein- und Auslagerpunkt des Regals zusammen. Soll der Materialstrom oder Warenstrom nur in eine Richtung erfolgen, ist eine Trennung des Einlagerpunktes vom Auslagerpunkt und somit auch der Vorzonen sinnvoll.³¹



³⁰ [HVB10], S.89f

³¹ [Anl09], S.9

2.2.6 Regalförderzeuge

Ein mögliche Systematik zur Strukturierung der Regalförderzeuge zeigt Abbildung 2-14 nach Jodin, die eine Einteilung in Flurförderzeuge, Regalbediengeräte und gekoppelte System vorsieht. Für das HRL-Tool von Interesse sind hierbei vor allem die Regalbediengeräte in den Ausführungen für Paletten und Behälter.

Regalbediengeräte sind nach VDI 2361 Fördermittel, die der automatischen oder manuellen Bedienung von Regalfächern in Lageranlagen für Paletten, Behälter oder Langgut dienen.³²

Regalbediengeräte sind somit:³³

- flurgebunden
- geführt verfahrbar
- gassengebunden oder gassenwechselfähig
- manuell bedient oder automatisiert
- mit Einzelantrieb für Bewegung in drei Achsen

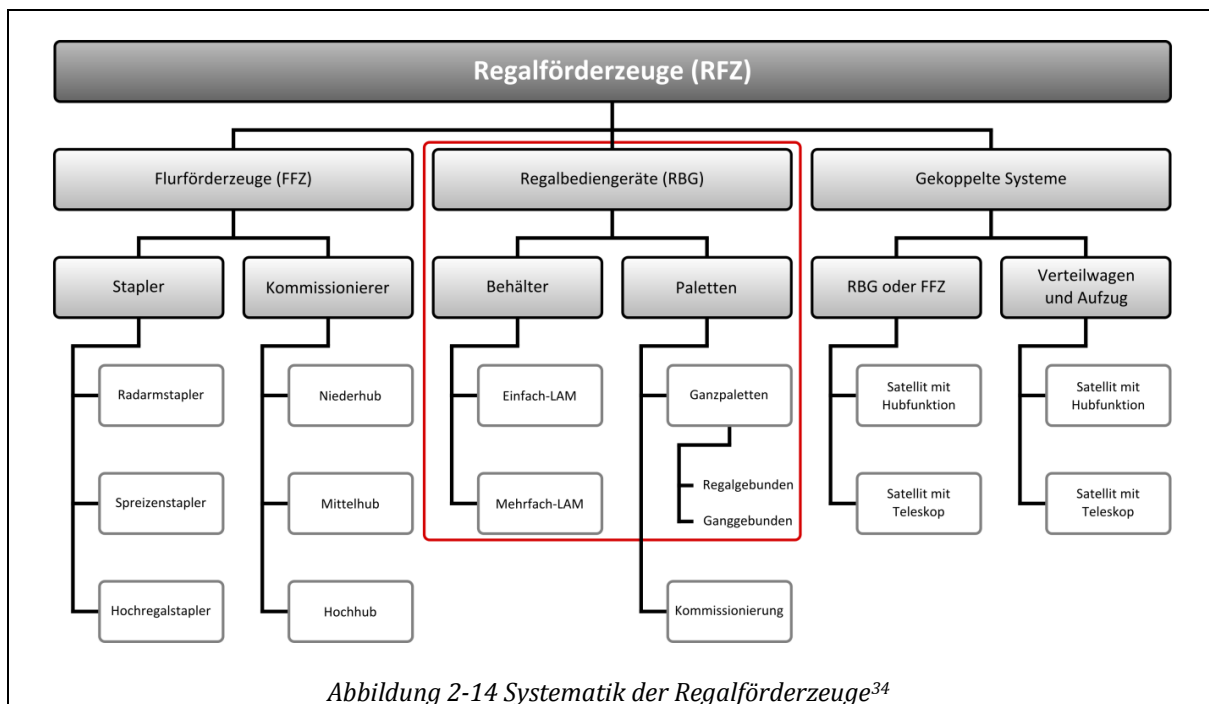


Abbildung 2-14 Systematik der Regalförderzeuge³⁴

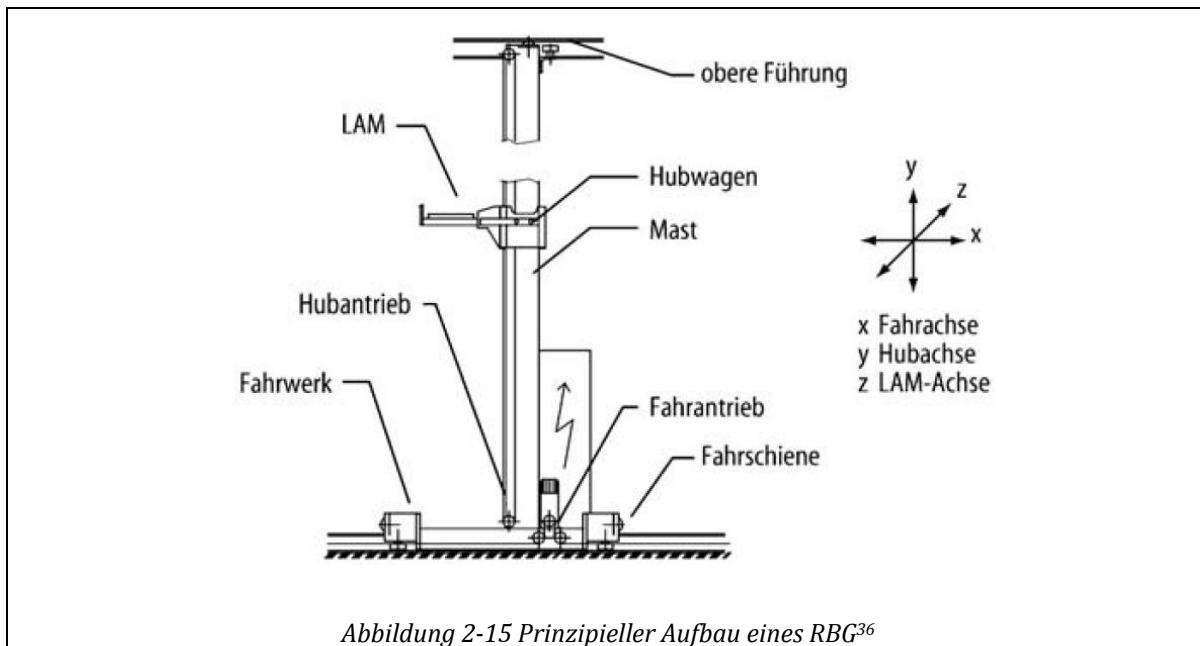
³² [Jod12], S.362 und [VDI93], S.2

³³ [Jod12], S.362

³⁴ [Jod12], S.95

2.2.6.1 Aufbau/Komponenten

Der prinzipielle Aufbau eines RBG sowie dessen Hauptbaugruppen (in der Abbildung ist ein 1-Mast-RBG dargestellt) sind in Abbildung 2-15 dargestellt. Das RBG kann in allen drei Achsrichtungen verfahren werden, wobei die Fahr- und Hubbewegung simultan ausgeführt werden kann, die Gabelbewegung jedoch nur separat, also im Stillstand des RBG.³⁵



2.2.6.2 Parameter

Für eine Auslegung eines Hochregallagers werden in Hinsicht auf das Regalbediengerät geometrische Parameter und Leistungsparameter benötigt.

Geometrische Parameter:

- Maximal/Minimal bedienbare Höhe
- Minimale Gangbreite
- Oberes/Unteres Anfahrmaß
- Seitliche Anfahrmaße
- Mögliche Lagertiefe (einfach-, zweifach- oder mehrfachtief)

Leistungsparameter:

- Maximale Nutzlast
- Fahrgeschwindigkeit/Fahrbeschleunigung
- Hubgeschwindigkeit/Hub
- Gabelspielzeit (je nach Lagertiefe)
- Totzeit

³⁵ [[Jod12], S.363

³⁶ [AIKT02], S.664

2.2.7 Ladehilfsmittel

Um Ladeeinheiten einfacher zu transportieren, insbesondere, wenn die Ladung unterschiedliche geometrische Ausprägungen aufweist, werden tragende Ladehilfsmittel verwendet. Für das HRL-Tool von Relevanz sind hierbei Paletten und Behälter.

Paletten

Paletten sind in vielen Formen und Materialien in der Logistik im Einsatz. Eine sehr häufig verwendete Palette mit tragender Funktion ist die Europoolpalette (auch Europalette). Die Europaletten sind genormt (vgl. DIN 15141, DIN 15141, DIN 15146, DIN EN ISO 445:2010-01 oder UIC-Norm 435-2) und mehrwegfähig. Da sie von allen vier Seiten von Standardfördermitteln manipulierbar ist, wird sie auch Vierwegpalette genannt.³⁷

Gängige Abmessungen für Paletten sind unter anderem (Abmessungen: B x T x H):³⁸

- Euro-Palette: 1200 x 800 x150 mm
- Euro-Halbpalette: 600 x 800 x150 mm
- Industriepalette: 1000 x 1200 x150 mm

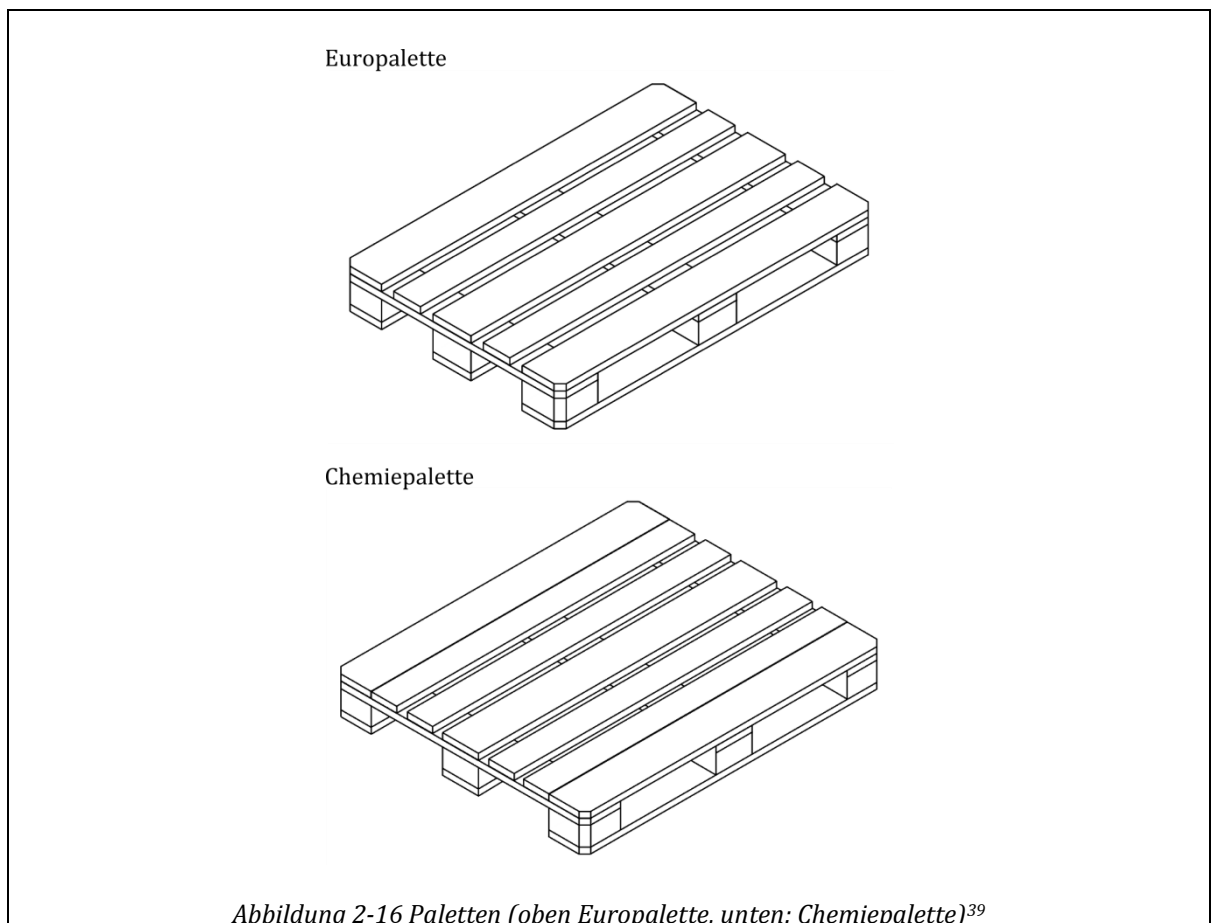


Abbildung 2-16 Paletten (oben Europalette, unten: Chemiepalette)³⁹

³⁷ [HVB07], S.24

³⁸ [AIKT02], S.704

³⁹ [HVB07], S.25

Behälter

Behälter zählen im Gegensatz zu den offenen Paletten zu den umschließenden Ladehilfsmitteln. Sie stellen vor allem in der Intralogistik, in ihrer Ausprägung als Kleinladungsträger, das meistverbreitete Ladehilfsmittel dar. Die Abmessungen, das Gewicht und die verwendeten Werkstoffe der Kleinladungsträger sind in DIN EN 13199-1 definiert.⁴⁰



Als Kleinladungsträger sind Abmessungen mit einer Grundfläche von 200 x 300 mm bis 400 x 600 mm, einem Inhaltvolumen von 5 bis 48 Liter und einer Nutzlast von bis zu 50kg gängig. Es gibt jedoch auch größere Varianten, die mit Abmessungen von bis zu 800 x 600 x 320 mm ein Volumen von 120 Litern bieten.⁴²

⁴⁰ [HVB07], S.27f

⁴¹ [HVB07], S.28

⁴² [HVB07], S.28 und [SSI10], S.A28

2.3 Lagerdimensionierung

Ausschlaggebend für die Lagerdimensionierung sind statische und dynamische Faktoren. Die statischen Faktoren umfassen die folgenden Auslegungsparameter:

- Kapazität des Lagers
- Verwendetes Ladehilfsmittel
- Maximale Fach- und Feldlast
- Layout des Lagers

Im HRL-Tool wird das Layout nur bedingt berücksichtigt. Es sollen nur bauliche Restriktionen in Form eines maximalen Bauraumes berücksichtigt werden. Eine Dimensionierung eines Lagers in einer bestehenden Halle kann über diese Parameter erfolgen, eine Einbeziehung von detaillierten baulichen Gegebenheiten wie z.B. bestehenden tragenden Strukturen wird jedoch nicht im Programm integriert.

Neben den statischen Faktoren werden zur Dimensionierung auch dynamische Faktoren verwendet, die die Umschlagleistung bzw. den Durchsatz des Lagers miteinbeziehen. Um die Umschlagleistung des Lagers bestimmen zu können, werden somit die

- Spielzeiten der Regalbediengeräte und die
- Anzahl der Regalbediengeräte

benötigt. Da die statischen und dynamischen Faktoren in vielerlei Hinsicht direkt voneinander abhängen, ist eine iterative Natur des Dimensionierungsalgorithmus ausschlaggebend.

2.4 Durchsatzbestimmung

Der Durchsatz (auch Umschlagleistung) in einem automatischen Lager ist definiert aus der Anzahl der Ein- und/oder Auslagerungen in einem bestimmten Zeitintervall.⁴³

Somit ist die Umschlagleistung direkt von der Spielzeit und der Anzahl der Regalbediengeräte abhängig. Die Spielzeit an sich hängt wiederum von den Leistungsdaten des Regalbediengeräts sowie der Regalgeometrie (inklusive der Platzierung der Ein- und Auslagerpunkte) ab.

2.4.1 FEM 9.851

Die Richtlinie FEM 9.851 definiert Regeln zur Bestimmung der Spielzeit in Hochregallagern, kann jedoch auch analog für die Bestimmung der Spielzeit in AKL verwendet werden. Zur statistischen Ermittlung der Spielzeit werden in ihr Testszenarien definiert, die die Anwendungsfälle vereinheitlichen und somit vergleichbar machen sollen. Die errechneten Werte stellen statistische Mittelwerte dar, die voraussetzen, dass die gesamten Fächer eines Regals über einen bestimmten Zeitraum gleichmäßig angefahren werden.⁴⁴

2.4.2 Lagerspiele

Die Spielzeit ist das Zeitintervall, um ein Einzelspiel oder ein kombiniertes Spiel durchzuführen. Sie kann unter Zuhilfenahme der FEM 9.851 oder der VDI 3561 (Durchsatzberechnung VDI 4480) als statistischer Mittelwert bestimmt werden.⁴⁵

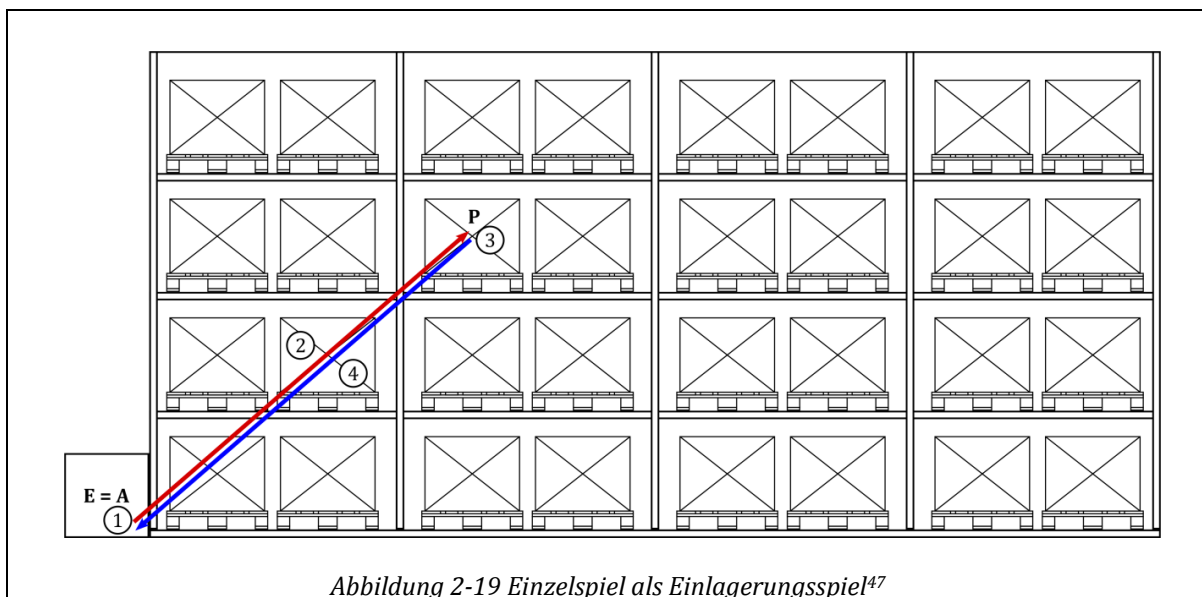
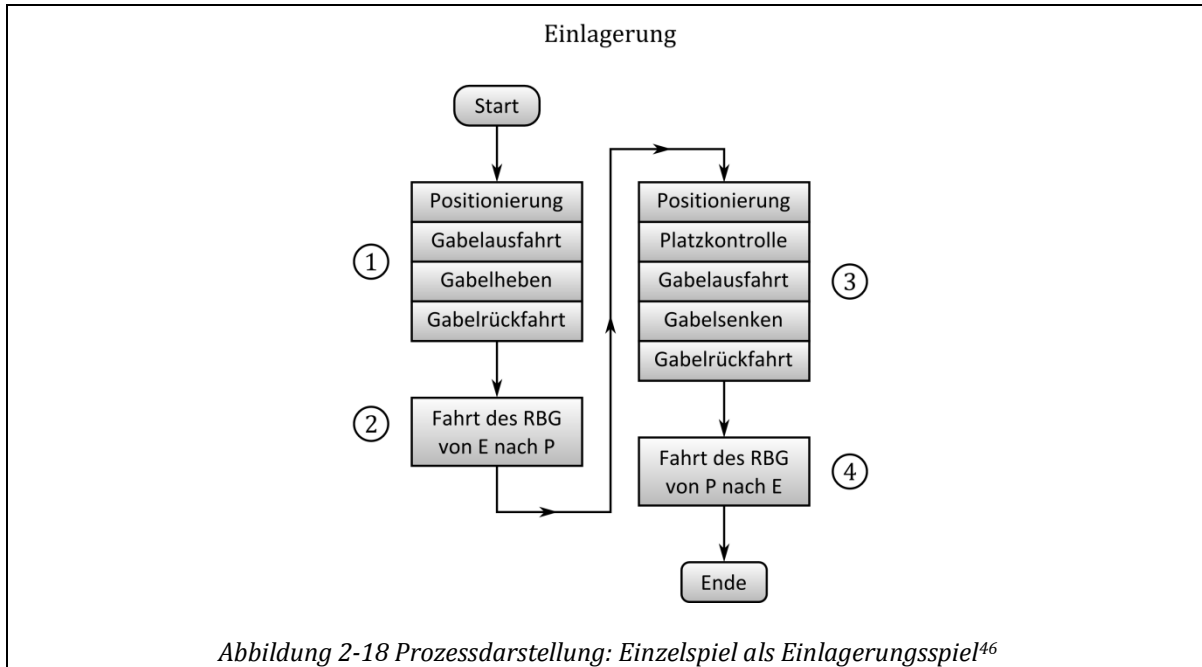
⁴³ [FEM02], S.3

⁴⁴ [FEM02], S.2 und S.6

⁴⁵ [FEM02], S.6

Einzelspiel

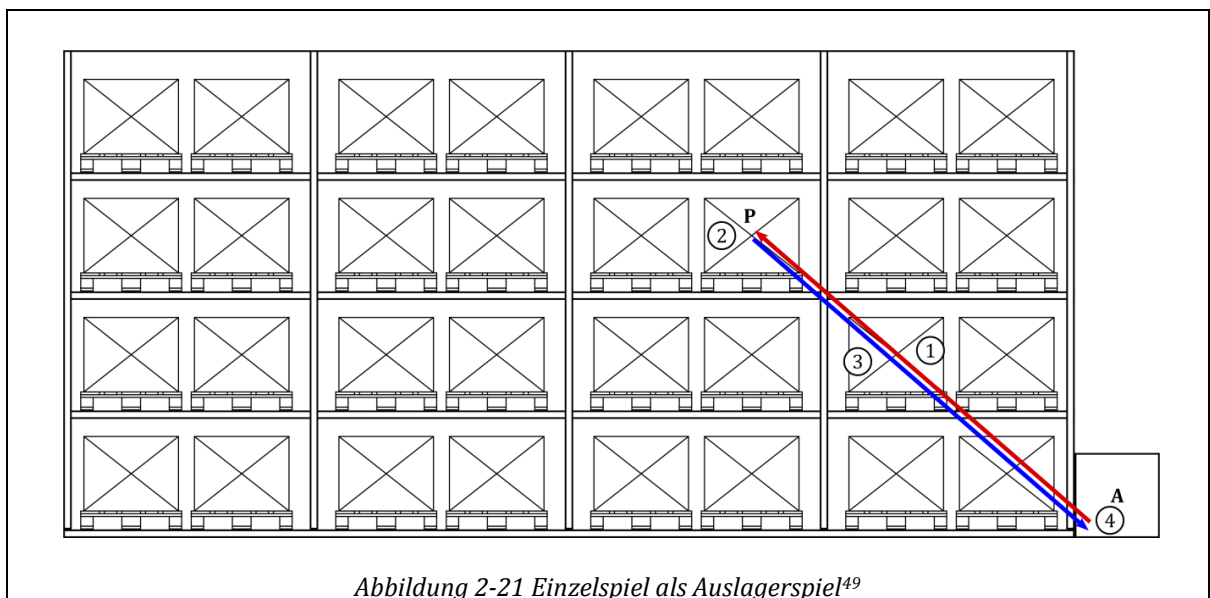
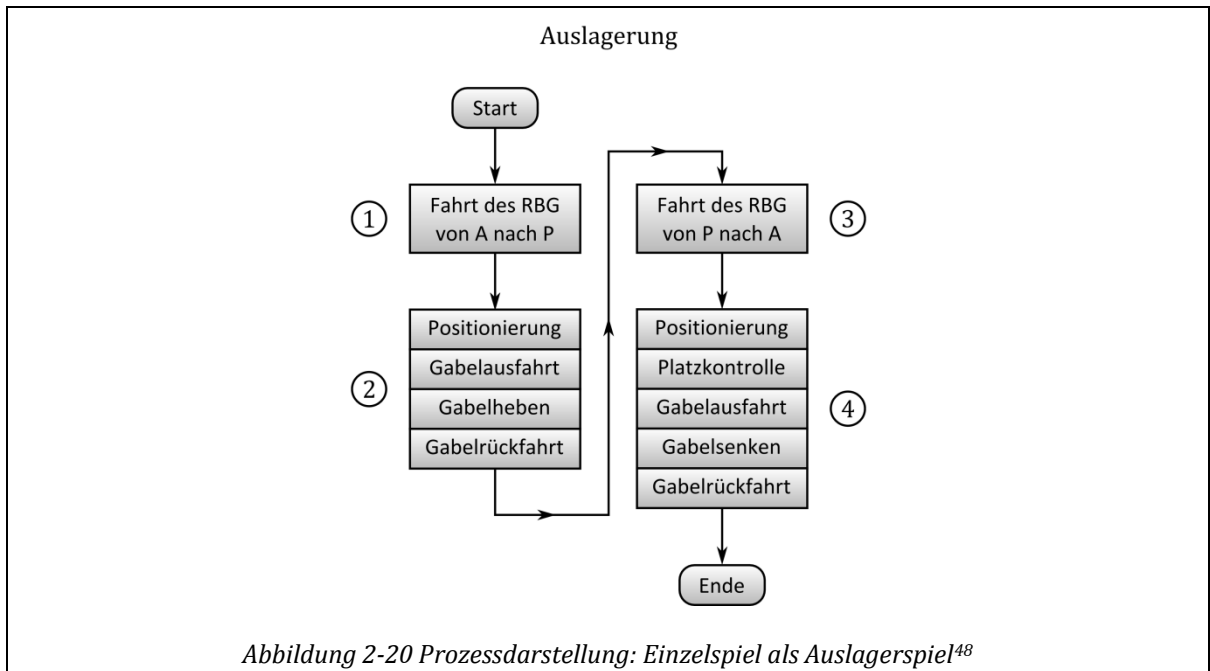
Das Einzelspiel kann entweder als Einlagerspiel oder Auslagerspiel gestaltet werden. Beim Einlagerspiel wird nach der Positionierung des RBG und dem Aufnehmen der Ladeinheit am Einlagerpunkt (1) die Ladeinheit zu ihrer Zielposition im Regal transportiert (2). Am Zielort erfolgt eine erneute Positionierung des RBG und die Ladeinheit wird abgelegt (3). Die Rückfahrt erfolgt ohne Ladung und ist somit die Leerfahrt des Einlagervorganges (4).



⁴⁶ [FEM02], S.4

⁴⁷ Dargestellt ist ein Palettenregal. Die Ausführungen lassen sich jedoch auch analog auf ein AKL anwenden

Das Auslagerspiel erfolgt vice versa zum Einlagerspiel. Das RBG bewegt sich in der Leerfahrt vom Auslagerpunkt ausgehend ohne Ladeinheit zum Regalfach der aufzunehmenden Ladeeinheit (1). Nach der Positionierung und Aufnahme der Ladeeinheit (2) erfolgt die Rückfahrt zum Auslagerpunkt (3), an dem die Ladeeinheit abgegeben wird (4).

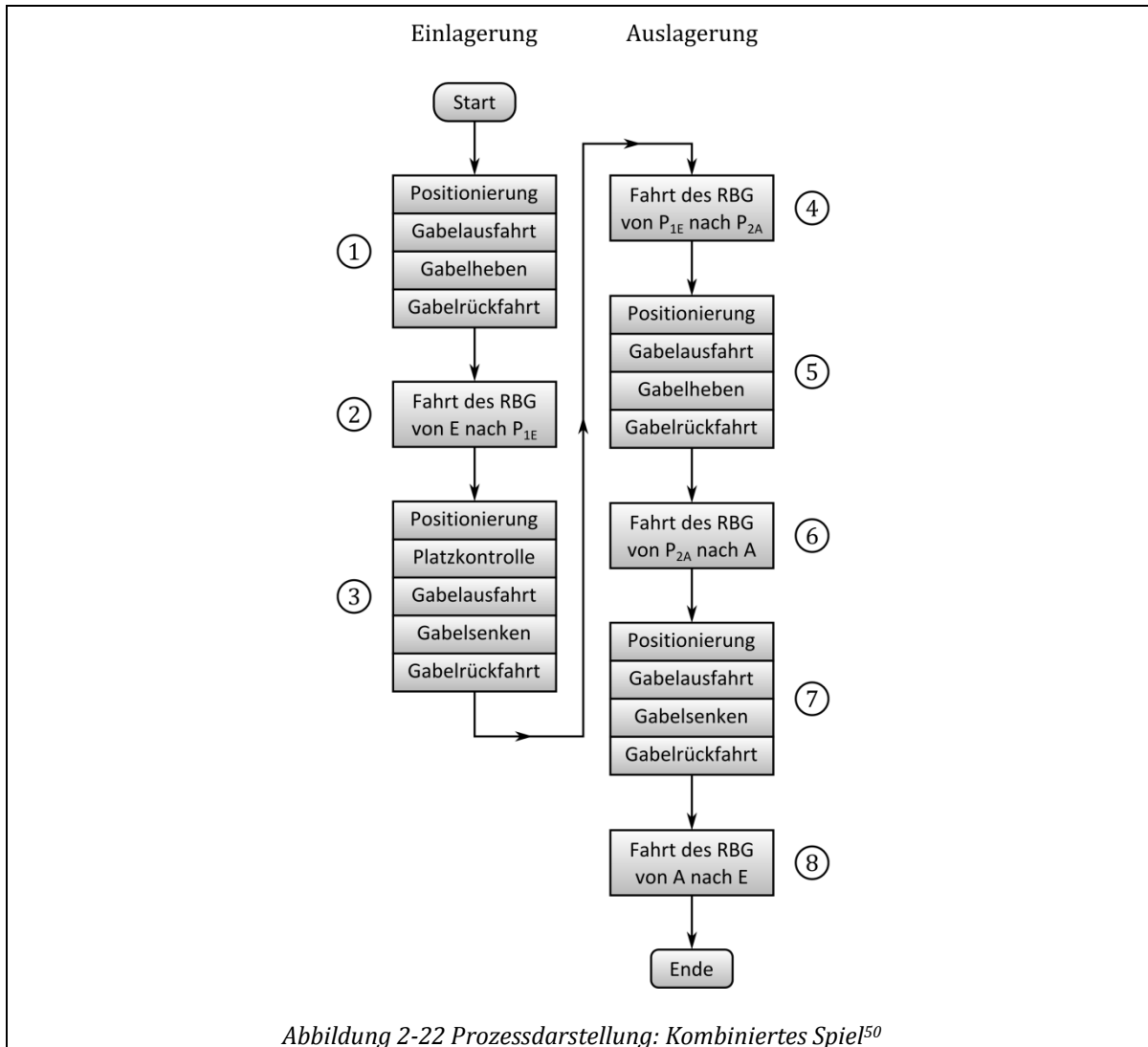


⁴⁸ [FEM02] , S.4

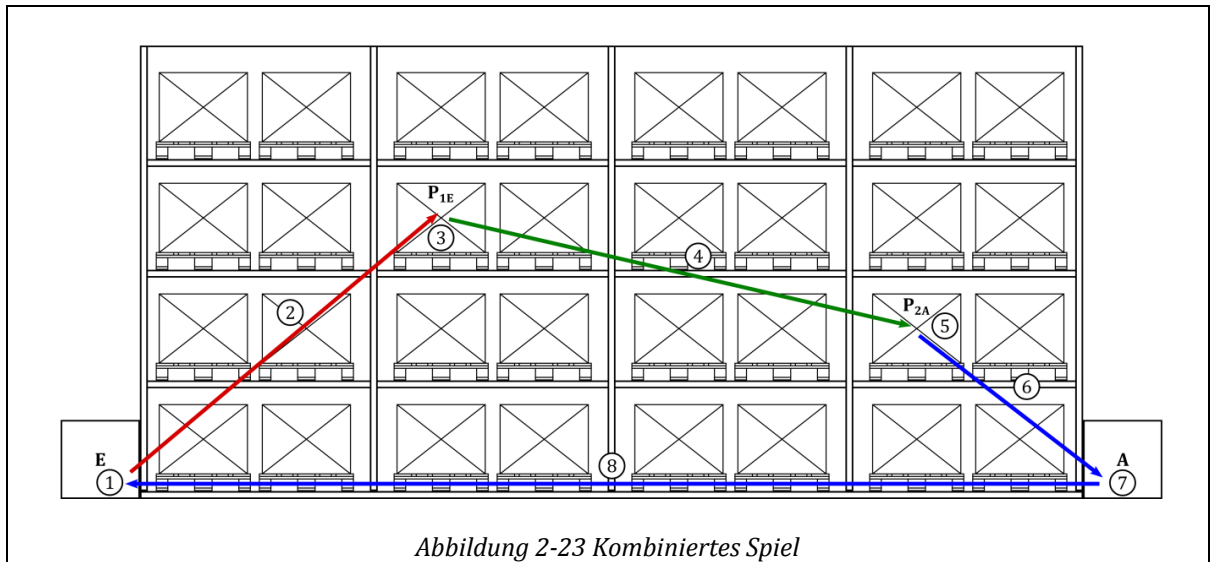
⁴⁹ Dargestellt ist ein Palettenregal. Die Ausführungen lassen sich jedoch auch analog auf ein AKL anwenden

Kombiniertes Spiel

Das kombinierte Spiel ist als Kombination eines Ein- und Auslagerspiels zu verstehen. Begonnen wird mit dem Anteil, der das Einlagerspiel darstellt. Die Ladeeinheit wird nach der Positionierung des RBG am Einlagerpunkt aufgenommen (1). Anschließend erfolgt die Fahrt des RBG zum Einlagerzielpunkt P_{1E} (2), an dem die Ladeeinheit abgegeben wird (3). Nun erfolgt die Auslagerung einer weiteren Ladeeinheit. Hierfür verfährt das RBG an den Zielpunkt P_{2A} (4), an dem die Ladeeinheit aufgenommen wird (5). Danach wird die auszulagernde Ladeeinheit zum Auslagerpunkt A transportiert (6) und abgeben (7). Das kombinierte Spiel endet mit der Rückfahrt vom Auslagerpunkt zum Einlagerpunkt.



⁵⁰ [FEM02], S.4

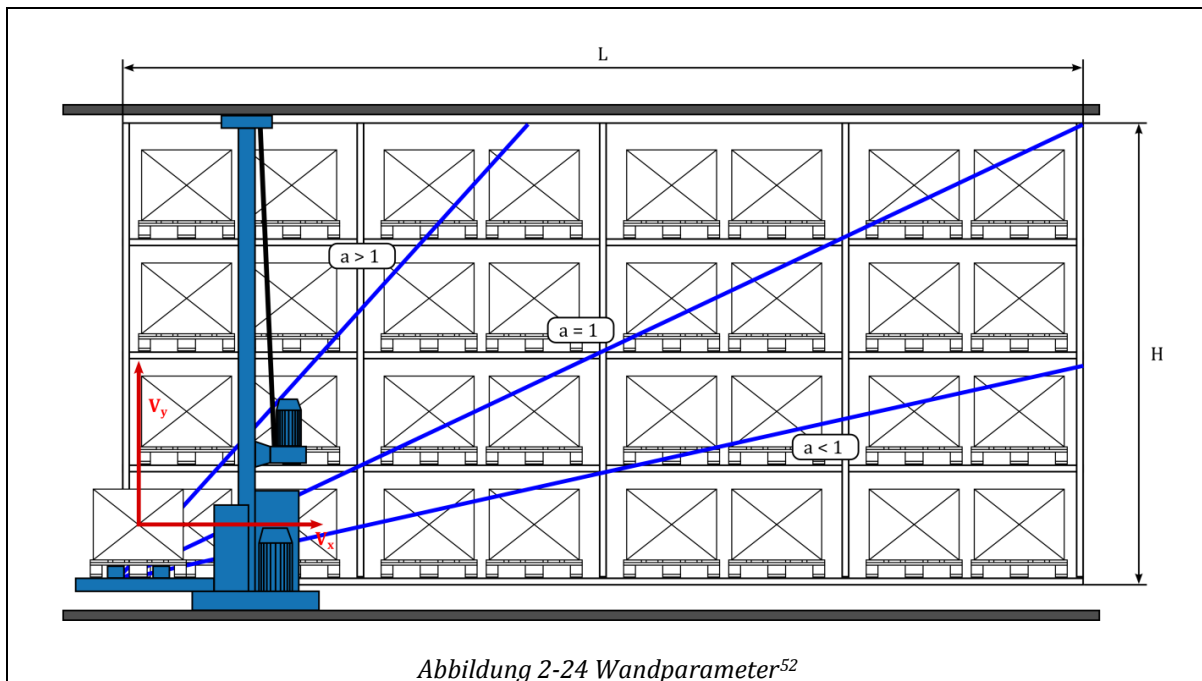


2.4.3 Regalwandparameter

Ein ausschlaggebender Faktor für die Aussagekraft der mittleren Spielzeiten ist der Regalwandparameter. Er errechnet sich nach FEM 9851 als:

$$a = \frac{H}{L} \cdot \frac{v_x}{v_y} \quad \text{Gl. 2-1}$$

Im Optimalfall, für $a = 1$, stimmt der Geschwindigkeitsvektor des RBG mit der Diagonale der Regalfläche überein. Bei Abweichungen des Regalwandparameters weichen auch die real ermittelten Spielzeiten von den statistischen Mittelwerten ab. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollte der Regalwandparameter die Grenzen $0,5 < a < 2$ nicht überschreiten.⁵¹



⁵¹ [FEM02], S.6

⁵² vgl. [Jod12], S.370

2.4.4 Wegzeitberechnung

Die Wegzeiten des RBG lassen sich durch eine eindimensionale Bewegung gut annähern. Da die Durchsatzbestimmung anhand der Berechnungsschemata der einschlägigen Richtlinien nur einen statistischen Mittelwert darstellt, ist die Ungenauigkeit dieser Berechnungsannahmen gering.

Eine weitere Vereinfachung kann insofern getroffen werden, dass die Beschleunigung und Verzögerung zu einer Bremsbeschleunigungskonstante b_m zusammengefasst werden.⁵³

$$b_m = \frac{2b^+b^-}{b^+ + b^-} \tag{Gl. 2-2}$$

Mit Hilfe dieser Vereinfachungen kann die mittlere Wegzeit nach Gleichung Gl. 2-3 berechnet werden.

$$t_m(s) = 2 \cdot \sqrt{\frac{s}{b_m}} \quad \text{für} \quad s < \frac{v_m^2}{b_m} \tag{Gl. 2-3^{54}}$$

$$t_m(s) = \frac{s}{v_m} + \frac{v_m}{b_m} \quad \text{für} \quad s \geq \frac{v_m^2}{b_m}$$

Bei einer zweidimensionalen, simultan gesteuerten Fortbewegung, die jedes moderne RBG unterstützt, ist somit der Maximalwert der beiden Einzelachsen als Ergebnis der Wegzeitberechnung zwischen zwei Punkten zu sehen.⁵⁵

Somit ergibt sich die mittlere Wegzeit bei einer zweidimensionalen, simultan gesteuerten Bewegung aus:

$$t_m(s_{xy}) = \text{MAX}(t_m(s_x); t_m(s_y)) \quad \begin{array}{l} t_m(s_x) \quad \dots \text{ mittlere Wegzeit in x-Richtung} \\ t_m(s_y) \quad \dots \text{ mittlere Wegzeit in y-Richtung} \end{array} \tag{Gl. 2-4}$$

Es wird somit zwischen einem Hub- und einen Fahrzeitkritischen Bereich (Abbildung 2-25) unterschieden.

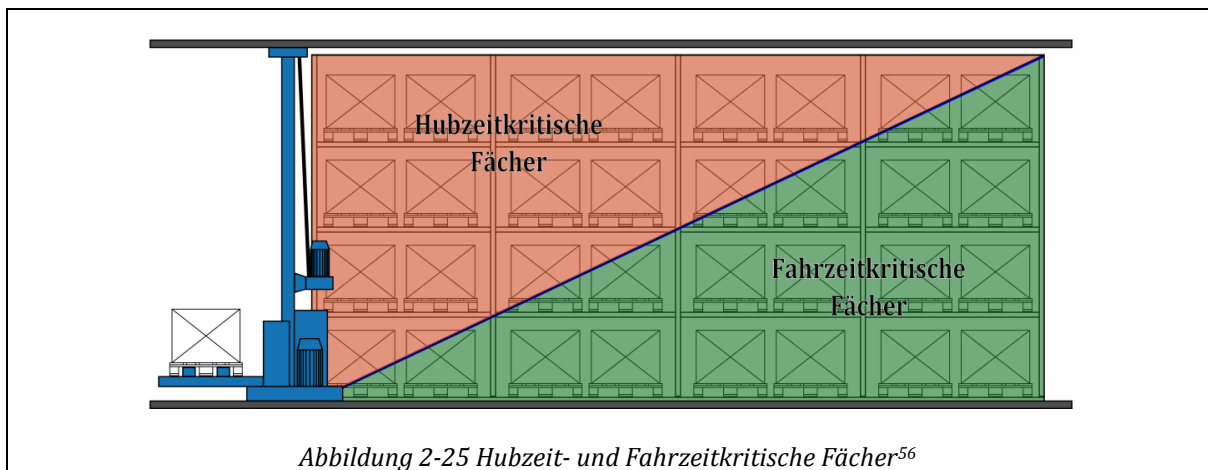


Abbildung 2-25 Hubzeit- und Fahrzeitkritische Fächer⁵⁶

⁵³ [GUD10], S.622
⁵⁴ [GUD10], S.623
⁵⁵ [GUD10], S.623
⁵⁶ [Jod12], S.371

2.4.5 Testpunkte

Die FEM 9.851 definiert sechs unterschiedliche Testfälle, die zur Bestimmung der Spielzeiten herangezogen werden:⁵⁷

- Fall 1: Ein- und Auslagerung am unteren Eckpunkt
- Fall 2: Einlagerung am Eckpunkt E; Auslagerung am Eckpunkt A
- Fall 3: Ein- und Auslagerung Eckpunkt angehoben
- Fall 4: Ein- und Auslagerung in x-Richtung verschoben, E=A
- Fall 5: Einlagerung am Eckpunkt E; Auslagerung in y-Richtung angehoben
- Fall 6: Einlagerung in y-Richtung angehoben; Auslagerung am Eckpunkt A

Die, in der FEM 9.851 bestimmten, Koordinaten der Testpunkte beziehen sich auf ein Regal mit den Abmessungen Höhe H und Länge L.

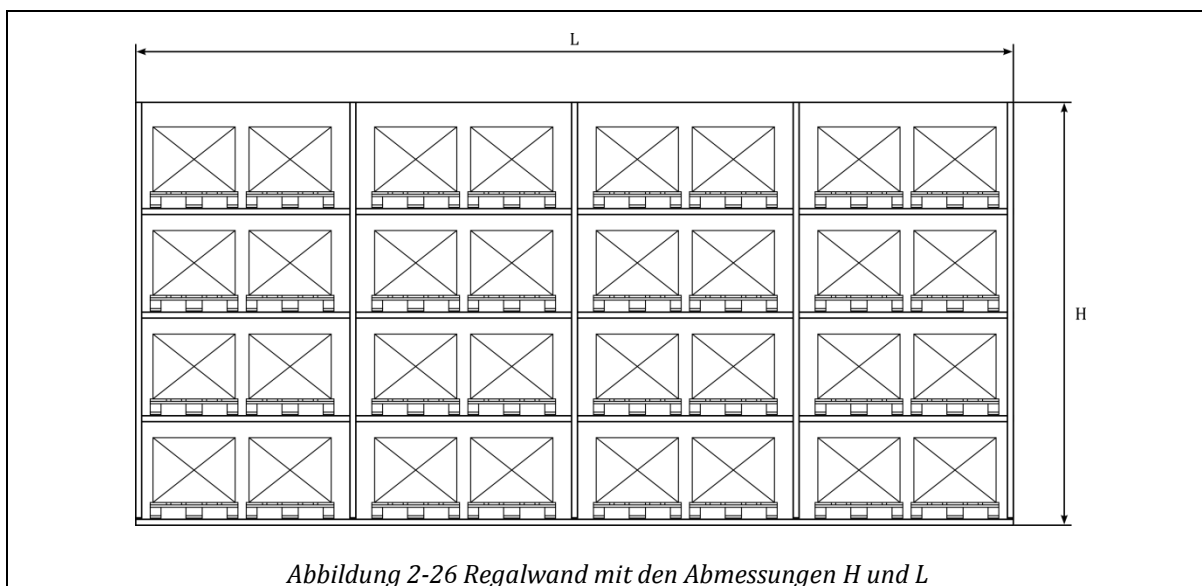


Abbildung 2-26 Regalwand mit den Abmessungen H und L

Die Spielzeiten für das Einzelspiel Einlagerung, Einzelspiel Auslagerung und das kombinierte Spiel können für die Testpunkte mit Hilfe der Gleichungen Gl. 2-5, Gl. 2-6 und Gl. 2-7 bestimmt werden. Neben den Zeitanteilen für die zweidimensionale Bewegung des RBG ($t_{P1,P2}$: Bewegung von Punkt P1 nach Punkt P2) werden zur Bestimmung der Zeiten auch die Zeitanteile t_{01} (Einzelspiel) und t_{02} (kombiniertes Spiel) benötigt.

Diese Zeitanteile beinhalten die benötigten Zeiten für:⁵⁸

- Positionierung
- Platzkontrolle
- Schalt- und Kontrollvorgänge
- Gabelspiel

⁵⁷ [FEM02], S.7ff

⁵⁸ [FEM02], S.3

Spielzeit: Einzelspiel Einlagerung

$$t_{m1E} = \frac{1}{2} \cdot (t_{E;P1E} + t_{P1E;E} + t_{E;P2E} + t_{P2E;E}) + t_{01} \quad \text{Gl. 2-5}$$

Spielzeit: Einzelspiel Auslagerung

$$t_{m1A} = \frac{1}{2} \cdot (t_{A;P1A} + t_{P1A;E} + t_{E;P2A} + t_{P2A;A}) + t_{01} \quad \text{Gl. 2-6}$$

Spielzeit: Kombiniertes Spiel

$$t_{m2} = \frac{1}{2} \cdot (t_{E;P1E} + t_{P1E;P2E} + t_{P2E;A} + t_{E;P1A} + t_{P1A;P2A} + t_{P2A;A}) + t_{A;E} + t_{02} \quad \text{Gl. 2-7}$$

2.4.6 Sonderfall: Zweifachtiefe Lagerung bei einfachtiefer Regalgasse

Bei der Spielzeitberechnung eines HRL mit zweifachtiefer Lagerung bei einfachtiefer Regalgasse ist neben der Bewegung des RBGs in x- und y-Richtung auch die Lagertiefe (z-Richtung) zu berücksichtigen. Zusätzlich zur längeren Zeit, die das RBG benötigt, um die doppelte Lagertiefe zu erreichen, ist hier auch die Möglichkeit, dass die Ladeeinheit nicht im direkten Zugriff stehen kann, von Bedeutung. Ist die Ladeeinheit verdeckt, werden zusätzliche RBG-Bewegungen notwendig, um die Ladeeinheit, die in vorderster Reihe steht, umzulagern.⁵⁹

Einzelspiel Einlagerung

Bei der Einzelspielzeitberechnung Einlagerung werden die Testspiele wie bei einfachtiefer Lagerung angewendet. Die Zykluszeit des Lastaufnahmemittels ist jedoch für einfach- (t_{LAM-ET}) und zweifachtiefe (t_{LAM-ZT}) Lagerung zu berücksichtigen. Die mittlere Spielzeit ergibt sich unter Berücksichtigung des Zeitanteils t_{03} , der die Zeiten für Positionierung, Platzkontrolle sowie Schalt- und Kontrollvorgänge beinhaltet, aus Gleichung Gl. 2-8.⁶⁰

$$t_{m1E} = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot t_{E;P1E} + 2 \cdot t_{P1E;P2E}) + t_{LAM-E} + \frac{1}{2} (t_{LAM-ET} + t_{LAM-ZT}) + t_{03} \quad \text{Gl. 2-8}$$

Einzelspiel Auslagerung

Das Vorgehen zur Berechnung des Einzelspiels Auslagerung erfolgt analog zum Einzelspiel Einlagerung, mit dem Unterschied, dass hier noch ein zusätzlicher Zeitanteil für eine Umlagerung einer verdeckenden Ladeeinheit miteinberechnet werden muss. Der Zeitanteil t_{04} ergibt sich aus der Summe für: Positionierung, Platzkontrolle sowie Schalt- und Kontrollvorgänge.⁶¹

$$t_{m1E} = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot t_{A;P1A} + 2 \cdot t_{A;P2A}) + t_{LAM-A} + \frac{1}{2} (t_{LAM-ET} + t_{LAM-ZT}) + \frac{1}{2} t_{UML} + t_{04} \quad \text{Gl. 2-9}$$

⁵⁹ [FEM02], S.14

⁶⁰ [FEM02], S.14 und S.19

⁶¹ [FEM02], S.14 und S.19

Kombiniertes Spiel

Bei der Berechnung des kombinierten Spiels bei zweifachtiefer Lagerung werden dieselben Punkte, die zur Berechnung der Spielzeit bei einfachtiefer Lagerung angewendet werden, verwendet. Für den Teil der Einlagerung kann wie beim Einzelspiel Einlagerung davon ausgegangen werden, dass die Hälfte der Ladeeinheiten einfachtief und die zweite Hälfte zweifachtief zu lagern ist. Beim Teil der Auslagerung müssen etwaige Umlagervorgänge berücksichtigt werden.⁶²

Zur Bestimmung der gesamten Spielzeit wird der Mittelwert aus den möglichen Kombinationen gebildet, die berücksichtigen, dass die Ladeeinheiten an Punkt P1 und Punkt P2 entweder einfach- oder zweifachtief gelagert werden.⁶³

$$\begin{aligned}
 t_{m2} = & + \frac{1}{4} \cdot (t_{LAM-E} + t_{E;P1} + t_{LAM-ET} + t_{P1;P2} + t_{LAM-ET} + t_{P2;A} + t_{LAM-A}) && \text{P1 einfachtief} && \text{Gl. 2-10} \\
 & && \text{P2 einfachtief} && \\
 & + \frac{1}{2} \cdot (t_{LAM-E} + t_{E;P1} + t_{LAM-ET} + t_{P1;P2} + t_{LAM-ZT} + t_{P2;A} + t_{LAM-A}) && \text{P1 einfachtief} && \\
 & && \text{P2 zweifachtief} && \\
 & + \frac{1}{4} \cdot (t_{LAM-E} + t_{E;P1} + t_{LAM-ZT} + t_{P1;P2} + t_{LAM-ZT} + t_{P2;A} + t_{LAM-A}) && \text{P1 zweifachtief} && \\
 & && \text{P2 zweifachtief} && \\
 & + \frac{1}{2} \cdot t_{UML} + t_{05} && &&
 \end{aligned}$$

Umlagerzeit

Steht eine Ladeeinheit nicht im direkten Zugriff, muss die davorstehende Ladeeinheit umgelagert werden. Vereinfacht kann die dafür benötigte Umlagerzeit t_{UML} aus den Zeitanteilen für die Fahrt zum nächsten freien Fach und zurück sowie für die einfachtiefe Auslagerung und zweifachtiefe Einlagerung verwendet werden.⁶⁴

$$t_{UML} = 2 \cdot t_F + t_{LAM-ET} + t_{LAM-ZT} \quad \text{Gl. 2-11}$$

Der Fahrzeitanteil t_F wird aus der zweidimensionalen Bewegung zum nächsten freien Fach berechnet. Im Fall einer chaotischen Lagerhaltung ist dieser Weg nur vom Füllungsgrad α und dem mittleren Abstand der Ladeeinheiten abhängig.

$$t_F = \frac{1}{2} (t_{\Delta x1|\Delta y1} + t_{\Delta x2|\Delta y2}) \quad \text{Gl. 2-12}$$

Die Koordinaten der Umlagerplätze errechnen sich zu:

$$\Delta x_1 = \frac{1}{10} x_F \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \quad \Delta y_1 = \frac{1}{3} y_F \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \quad \text{Umlagerplatz U1} \quad \text{Gl. 2-13}$$

$$\Delta x_2 = \frac{1}{3} x_F \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \quad \Delta y_2 = \frac{1}{10} y_F \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} \quad \text{Umlagerplatz U2} \quad \text{Gl. 2-14}$$

$$x_F = \frac{L}{n_x} \quad y_F = \frac{H}{n_y} \quad \text{Mittlerer Abstand der Ladeeinheiten} \quad \text{Gl. 2-15}$$

Der Lagerfüllungsgrad errechnet sich durch:

$$\alpha = \frac{n_{Belegt}}{n_{Gesamt}} \quad \begin{array}{l} n_{Belegt} \quad \dots \text{Anzahl der belegten Fächer} \\ n_{Gesamt} \quad \dots \text{Gesamtanzahl der Fächer} \end{array} \quad \text{Gl. 2-16}$$

⁶² [FEM02], S.14f

⁶³ [FEM02], S.14f

⁶⁴ [FEM02], S.14f

2.5 Lagerkennzahlen

Lagerkennzahlen dienen dem objektiven Vergleich verschiedener Lagervarianten. Eine Variante nach Jodin unterscheidet wie folgt:⁶⁵

- Dynamische Kennzahlen
- Statische Kennzahlen
- Kostenkennzahlen
- Bestandskennzahlen

Kostenkennzahlen sind im HRL-Tool nicht von Relevanz, da keine Kostenaufstellung der Bestandteile des Lagers erfasst wurde.

2.5.1 Dynamische Lagerkennzahlen

Bei den dynamischen Lagerkennzahlen sind vor allem die Umschlagleistungen zu erwähnen. Sie dienen im HRL-Tool sowohl als Auslegungsparameter, als auch als errechneter Ausgabewert. Daher sind die, für das HRL-Tool wichtigsten, Kennzahlen

- Einlagerungen je Stunde
- Auslagerungen je Stunde
- Kombinierte Spiele je Stunde

Die Ausgabewerte werden nach dem in Kapitel 2.4 (Durchsatzbestimmung) erläuterten Schema errechnet.

2.5.2 Statische Lagerkennzahlen

Neben den dynamischen Lagerkennzahlen finden auch statische Kennzahlen im HRL-Tool Verwendung. Von dieser Gruppe der Lagerkennzahlen werden die Lagerkapazität als Auslegungsparameter und als Ausgabewert, der Lagerfüllungsgrad als Auslegungsparameter sowie der Flächen- und Volumennutzungsgrad als Ausgabewert verwendet.

Die Berechnung des Flächennutzungsgrades und des Volumennutzungsgrades erfolgen anhand der Gleichungen Gl. 2-17 bzw. Gl. 2-18:⁶⁶

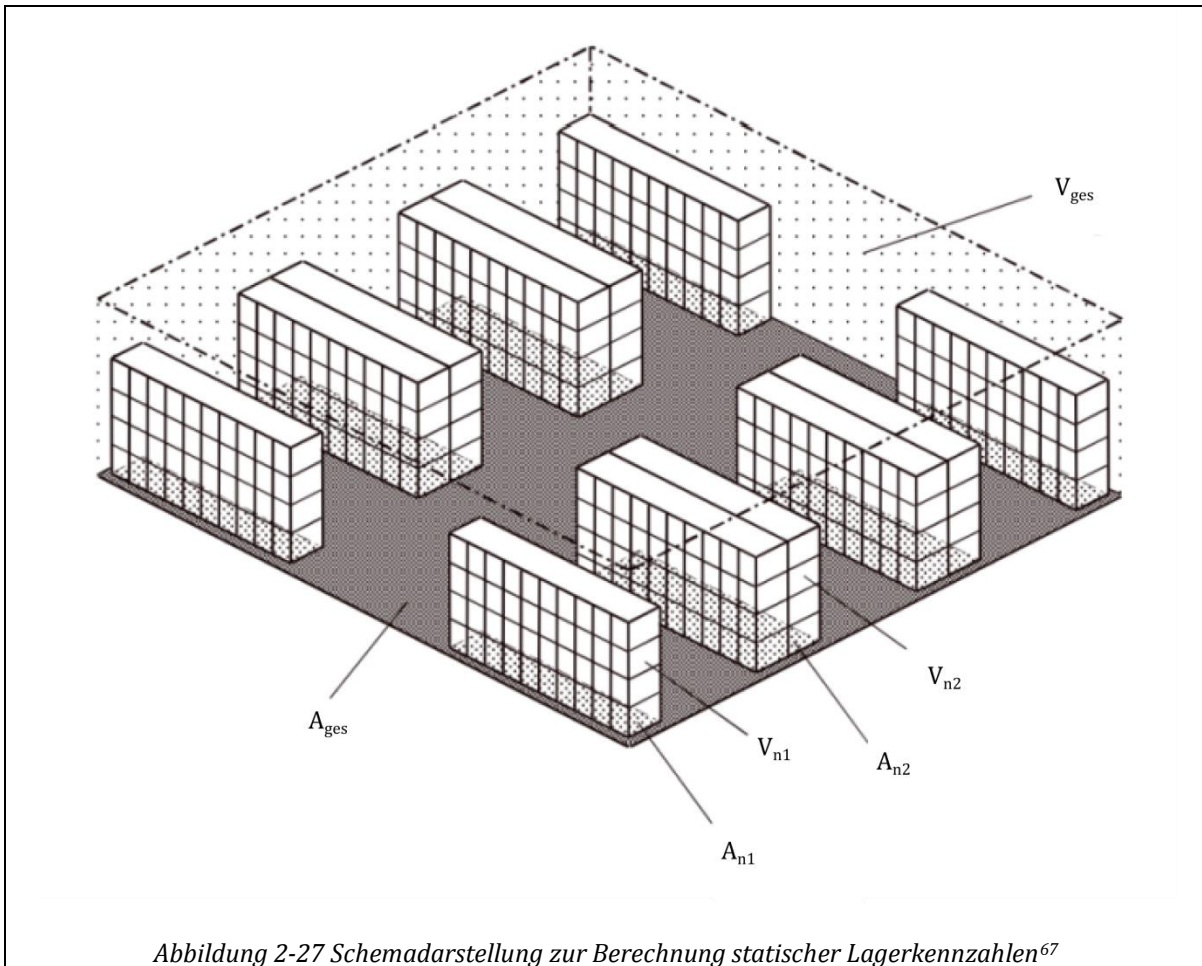
$$\mu_A = \frac{\text{genutzte Fläche} \sum_{i=1}^n A_{ni}}{\text{gesamte Fläche } A_{ges}} \quad \text{Gl. 2-17}$$

$$\mu_A = \frac{\text{genutztes Volumen} \sum_{i=1}^n V_{ni}}{\text{gesamtes Volumen } V_{ges}} \quad \text{Gl. 2-18}$$

Die relevanten Parameter der Gleichungen sind in Abbildung 2-27 dargestellt.

⁶⁵ [Jod12], S.57

⁶⁶ [Jod12], S.58



⁶⁷ [Jod12], S.58

3 KONZEPTION DES HRL-TOOLS

Das HRL-Tool ist als wissensbasierende KBE-Lösung konzipiert. Das bedeutet, dass der Benutzer die Möglichkeit erhalten soll, ein Auslegungsprojekt so frei wie möglich zu konfigurieren, dabei aber hinsichtlich redundanter Aufgaben so weit wie möglich unterstützt wird.

Um ein Projekt auszulegen, soll daher nur ein minimaler Parametersatz vom Benutzer gefordert werden. Alle weiteren Parameter sollen mit Standardwerten (aus entsprechenden Herstellerinformationen oder Literaturstellen) bereits gefüllt sein. Diese Standardwerte sollen jedoch auch, falls gefordert, einfach manipulierbar sein.

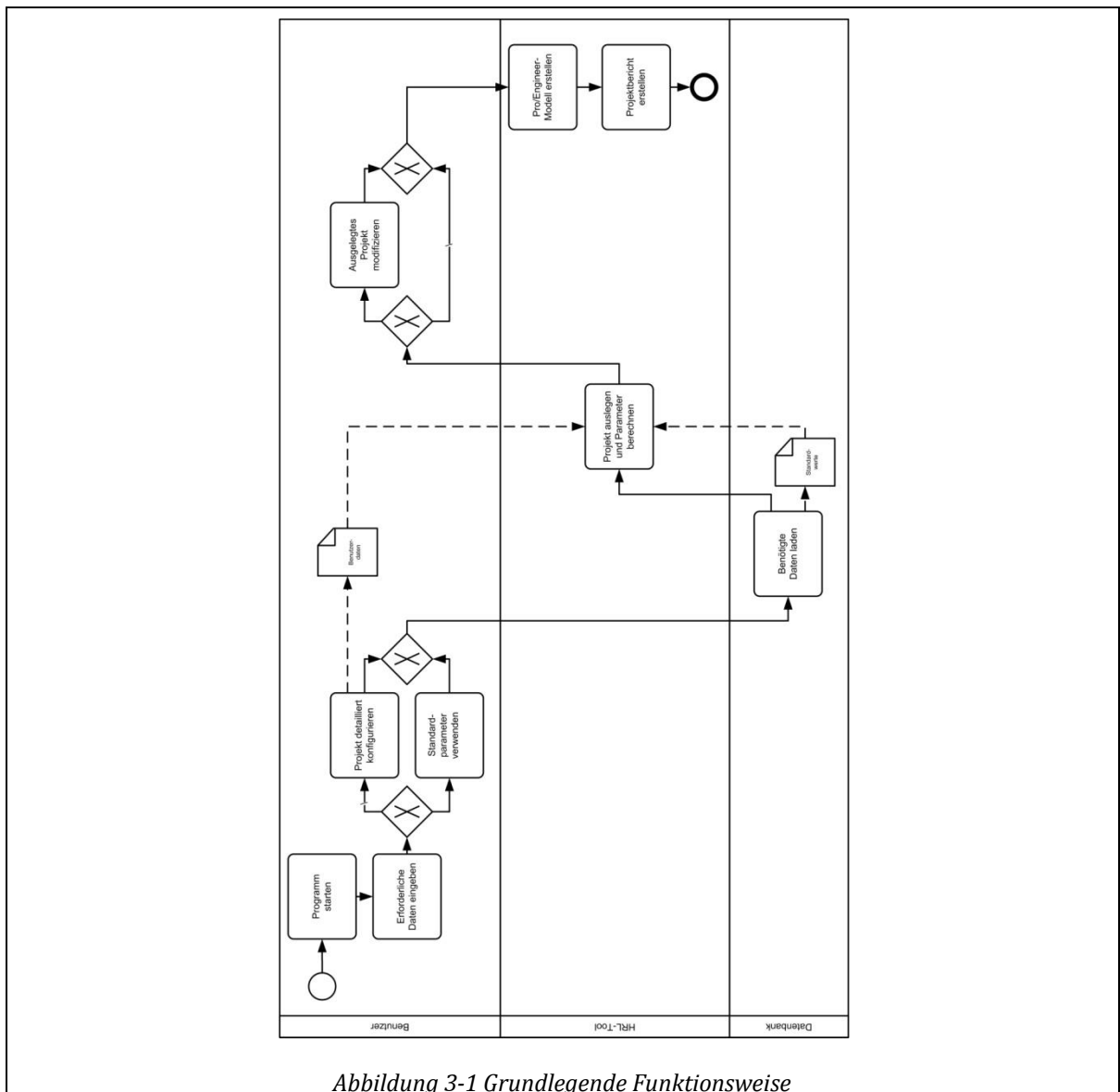


Abbildung 3-1 Grundlegende Funktionsweise

Abbildung 3-1 zeigt den Konzeptentwurf des Arbeitsablaufs der durch das HRL-Tool verwirklicht werden soll. Nach einer ersten Konfiguration eines Projektes wird das Hochregallager entsprechend der Vorgaben ausgelegt und dem Benutzer wird das Ergebnis zur Kontrolle ausgegeben. In diesem Schritt soll eine Möglichkeit zur Manipulation der errechneten Werte gegeben werden. Abschließend werden ein 3D-Modell und ein Projektbericht erstellt.

3.1 Marktanalyse

Da Regale und Regalbediengeräte nicht detailliert dimensioniert, sondern nur nach entsprechenden Herstellerangaben ausgewählt werden sollen, wurde im Zuge dieser Arbeit eine umfangreiche Marktrecherche durchgeführt.

Während der Marktrecherche wurden die Daten von 123 Regalbediengeräten von 14 unterschiedlichen Herstellern erhoben. Die evaluierten Hersteller sind:

- BEEWEN GmbH & Co. KG
- Dematic GmbH
- Gebhardt Fördertechnik GmbH
- Gilgen Logistics AG
- LTW Intralogistics, Inc.
- Mecalux GmbH
- Mlog Logistics GmbH
- Sconvey Fördertechnik und Intralogistik
- Siba - System Integration GmbH
- SSI Schäfer GmbH
- Stöcklin Logistik AG
- Swisslog Accalon AB
- TGW Mechanics GmbH
- Viastore Systems GmbH

Geometrische Parameter:

- Maximal/Minimal bedienbare Höhe
- Minimale Gangbreite
- Oberes/Unteres Anfahrmaß
- Seitliche Anfahrmaße
- Mögliche Lagertiefe (einfach-, zweifach- oder mehrfachtief)

Hinsichtlich der benötigten geometrischen Parameter mussten bei der Marktrecherche Einschränkungen getroffen werden. Insbesondere die Anfahrmaße wurden von den wenigstens Firmen preisgeben. Die nicht erhobenen Werte wurden durch Durchschnittswerte vergleichbarer RBG erweitert.

Leistungsparameter:

- Maximale Nutzlast
- Fahrgeschwindigkeit/Fahrbeschleunigung
- Hubgeschwindigkeit/Hub
- Gabelspielzeit (je nach Lagertiefe)
- Totzeit

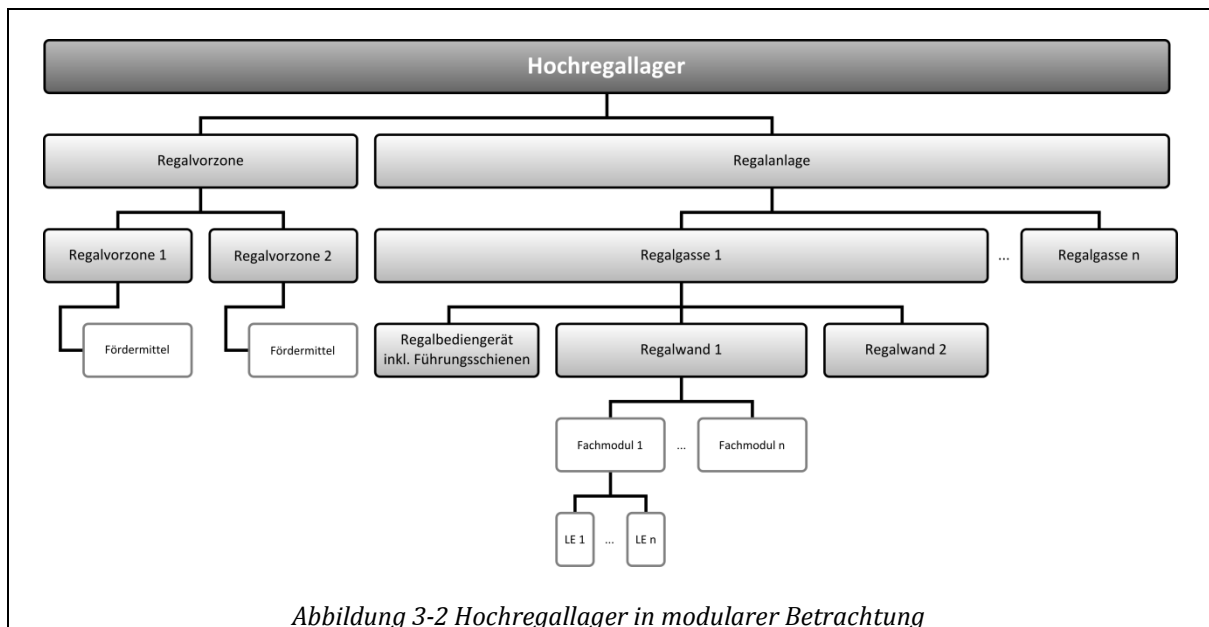
Die Leistungsparameter der RBG konnten vor allem hinsichtlich der Gabelspielzeit nur lückenhaft erhoben werden. Die Totzeit wurde nach Gudehus als Standardwert mit einer Sekunde⁶⁸ festgelegt.

⁶⁸ [GUD10], S.627

3.2 Das Hochregallager als System

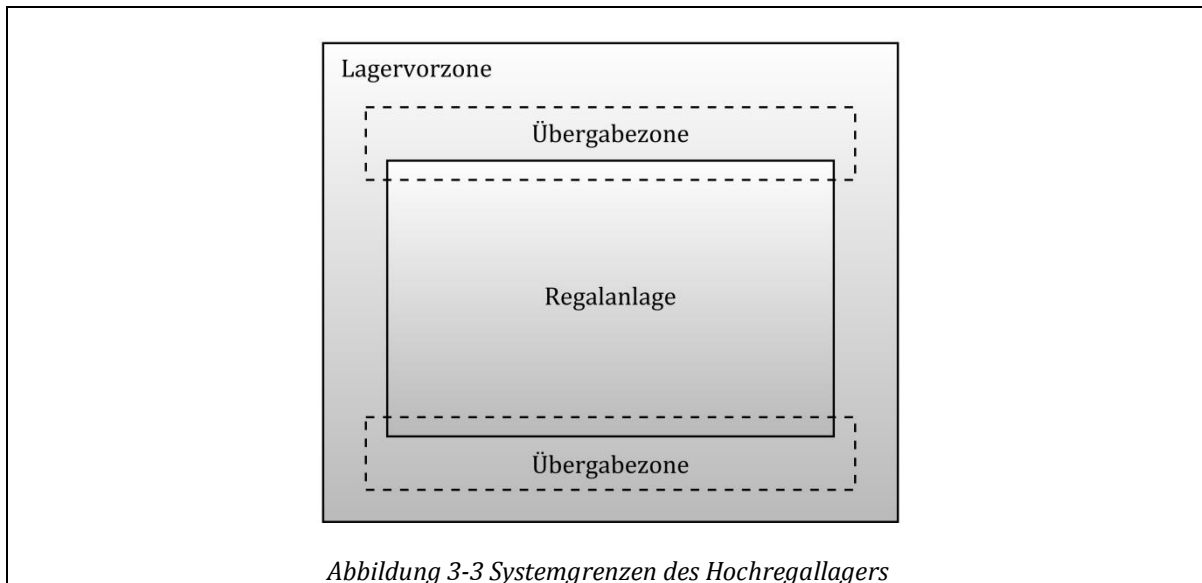
Ein Hochregallager kann als System beschrieben werden. Dieses System wird in dieser Betrachtungsweise durch einzelne Module aufgebaut und hat definierte Grenzen zu seiner Umgebung.

Das kleinste Modul in dieser Betrachtung stellt die Ladeinheit (LE) dar, die sich aus dem Ladehilfsmittel und der Ladung an sich zusammensetzt. Mehrere Ladeeinheiten lassen sich in einer Regalwand zu einem Fachmodul zusammenfassen. Zwei Regalwände und das Regalbediengerät (inklusive der benötigten Führungsschienen) setzen sich zum Kernstück einer Regalgasse zusammen: der Regalgasse. Eine oder mehrere Gassen bilden mit der Regalvorzone (oder zwei Regalvorzonen) das Gesamtsystem Hochregallager.



3.2.1 Systemgrenzen

Das Gesamtsystem wird in dieser Betrachtung nur hinsichtlich der Regalvorzone und der Regalanlage betrachtet. Die Regalvorzone bildet die Systemgrenze der Gesamtanlage zur Umwelt bzw. weiterführenden Fördertechnik.



Die Regalanlage an sich bildet ein separates Teilsystem und hat seine eigenen Systemgrenzen in Abgrenzung zur Regalvorzone. Diese Grenze wird durch die Übergabezone gebildet. Dies ist vor allem hinsichtlich der Auslegungsberechnung wichtig, da nur die Regalanlage detailliert ausgelegt wird. Die Regalvorzone wird nur noch hinsichtlich der erforderlichen Größe dargestellt, nicht jedoch in Bezug auf die notwendigen Durchsätze ausgelegt.

Die Grenze zwischen den beiden Teilsystemen verläuft in geometrischer Hinsicht nicht strikt, da die Ladeeinheiten und das Regalbediengerät in beiden Systemen vorkommen und die Systemgrenzen auch passieren können.

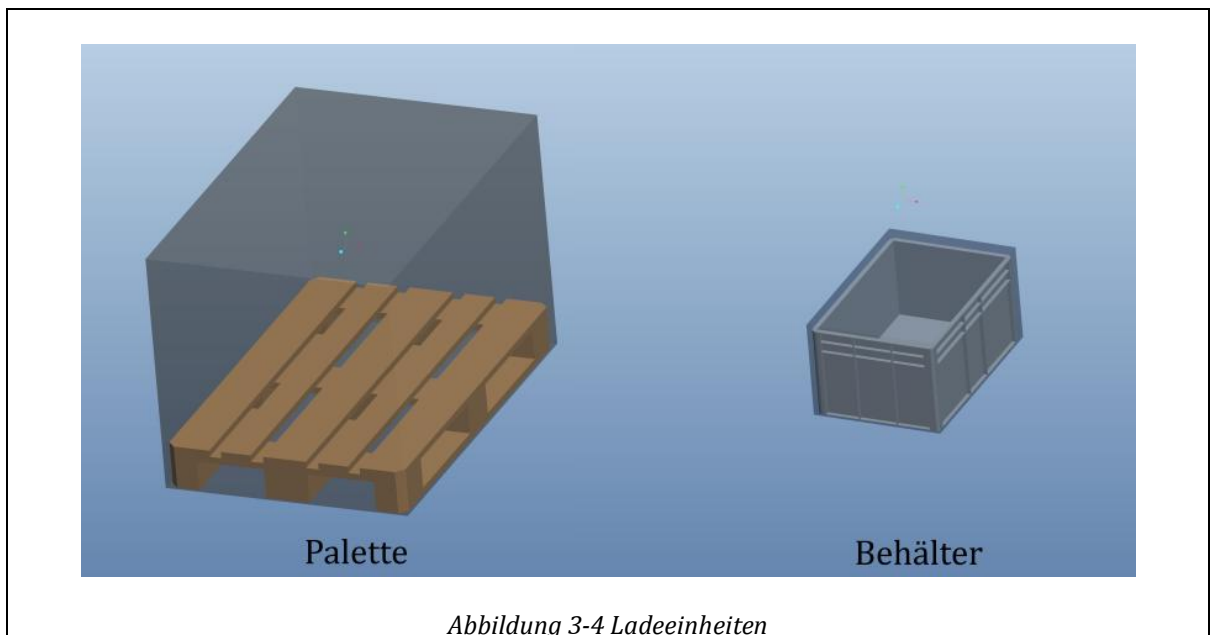
3.2.2 Aufbau des Hochregallagers

Um durch Parametrisierung sowohl ein HRL, als auch ein AKL ableiten zu können, wurde ein allgemeines Modell entwickelt, aus dem beide Varianten abgeleitet werden können. Der Aufbau des Einheitsmodells stellt eine Summierung einzelner Bauräumen dar.

Der kleinste Bauraum, auf dem das restliche Modell basiert ist die Ladeinheit. Eine Ladeinheit setzt sich aus

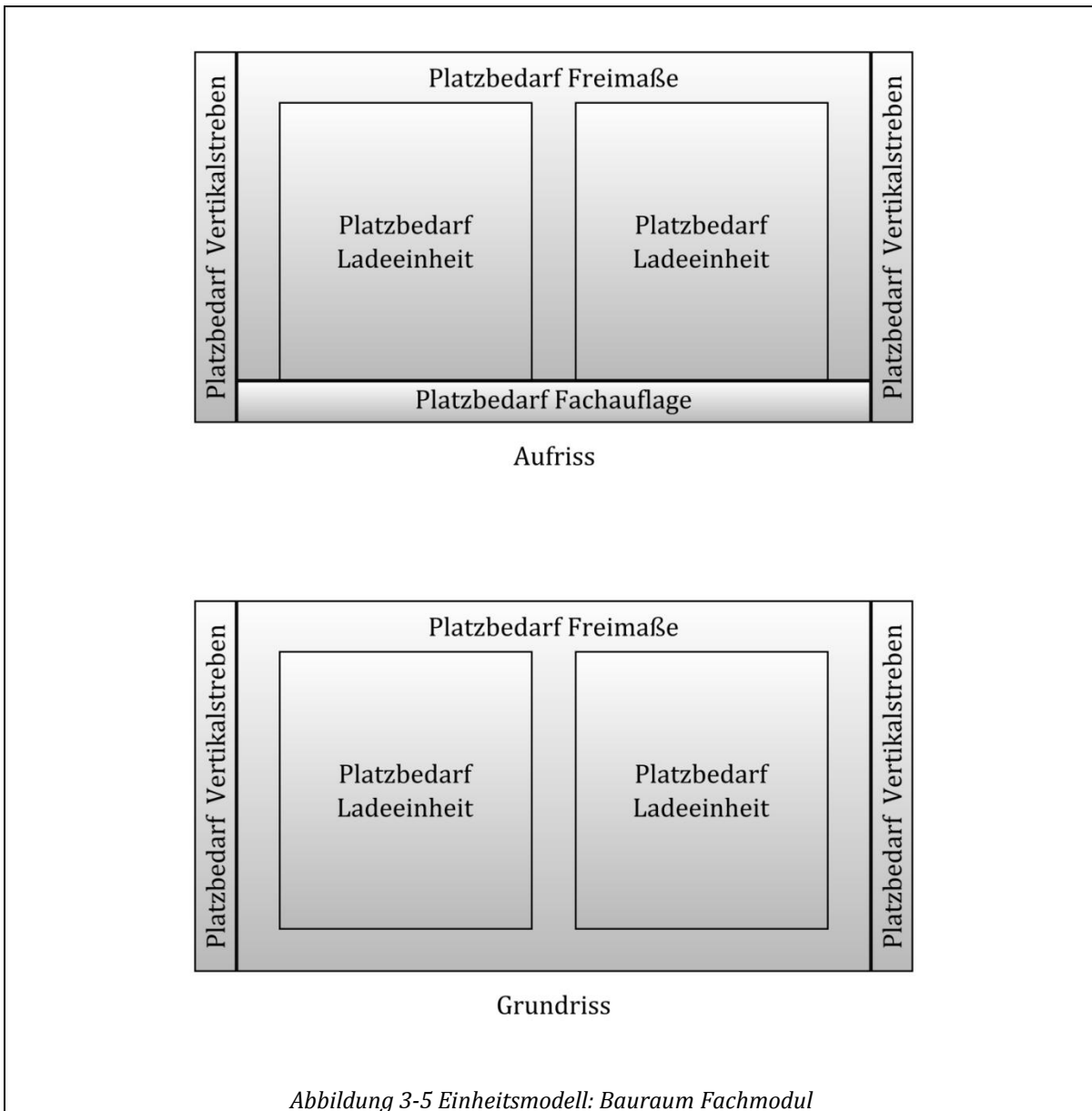
- Ladehilfsmittel
- Ladung

zusammen. Unwichtig ist bei dieser Betrachtung die Art der Füllereinheiten oder Ladungsträger. Die Ladeinheit wird als Ganzes nur als Bauraum in drei Dimensionen betrachtet. Somit muss keine Differenzierung zwischen Paletten und Behältern erfolgen.



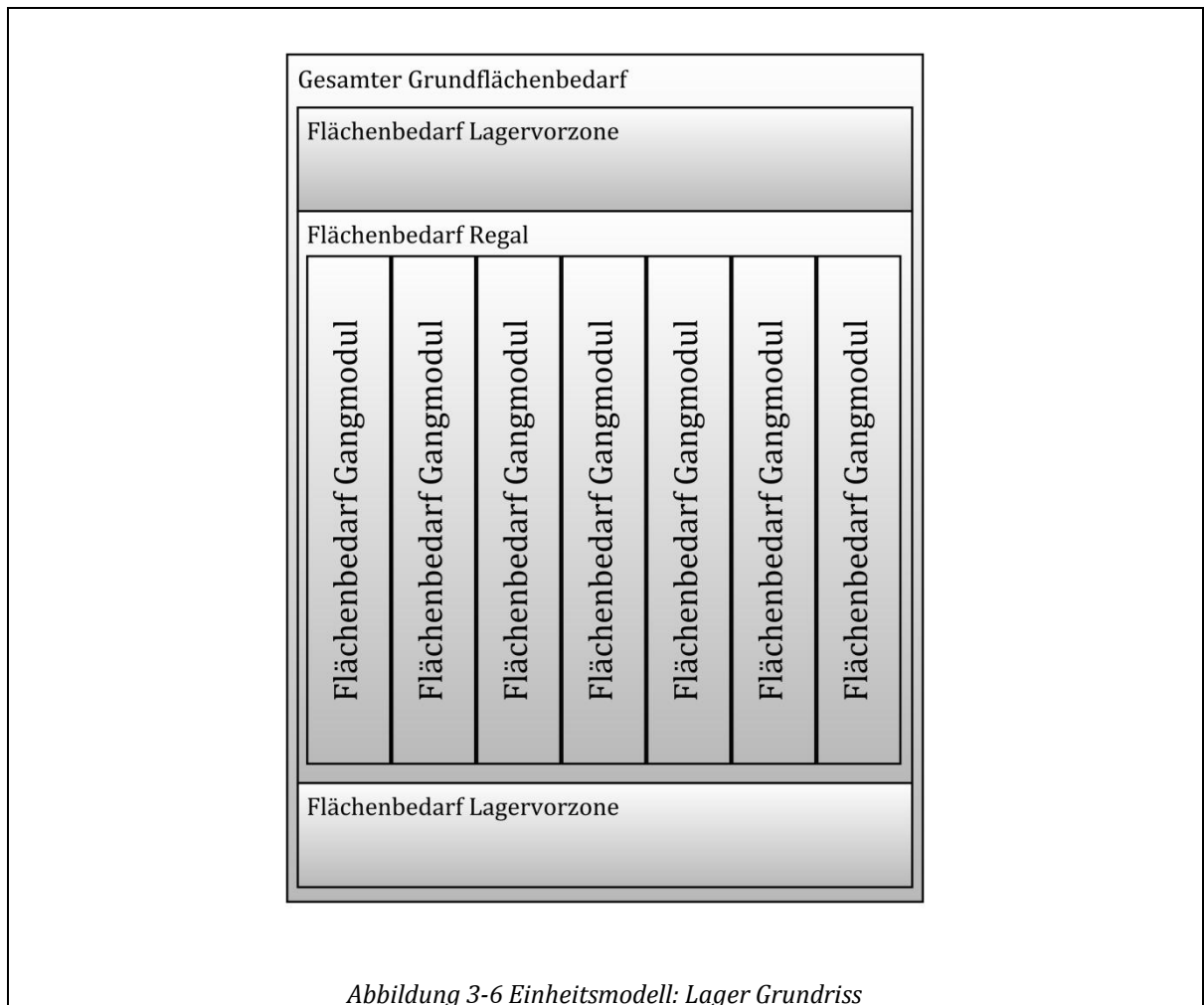
Durch diese Methodik ist es auch möglich, eine Ladeinheit mit Überstand über das Regal in z-Richtung zu platzieren, indem der Bauraum kleiner als die Ladeinheit gewählt wird.

Wie aus der Systematisierung des Hochregallagers ersichtlich, lässt sich der Bauraum eines Fachmoduls durch eine oder mehrere Ladeeinheiten, die benötigten Freimaße und die entsprechenden Regalkomponenten zusammensetzen.



Im Grundriss des Modells sind nur die Projektionen der Bauräume als Flächenbedarf ausschlaggebend. Die einzelnen, benötigten Flächen setzen sich zur Gesamtfläche zusammen. Diese Fläche darf die durch die baulichen Restriktionen vorgegebene Maximalfläche nicht überschreiten.

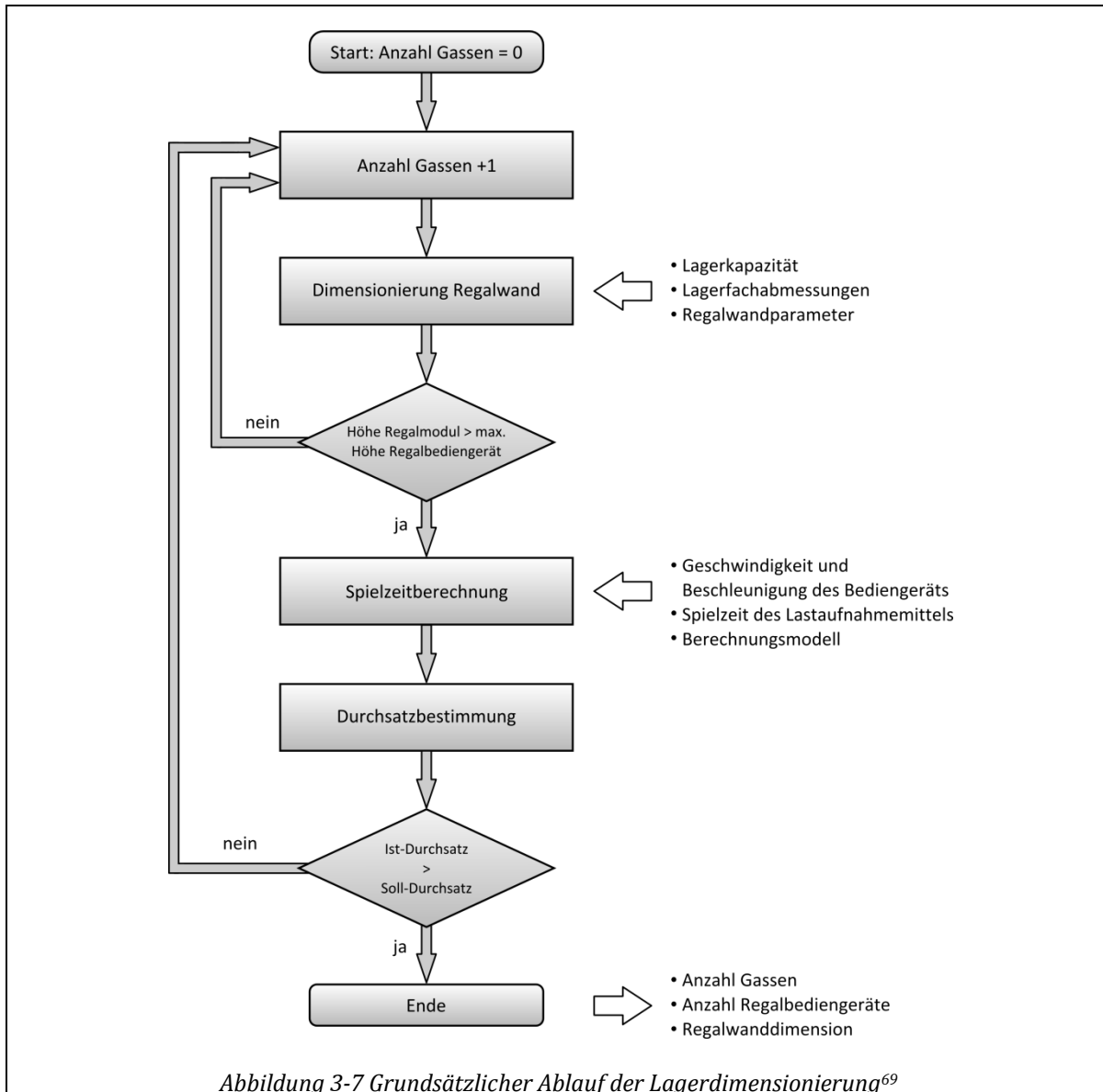
Die y-Richtung, also die Höhe des Hochregallagers, wird separat betrachtet. Für die Bestimmung der Höhe werden die maximal erreichbare Höhe des RBGs, baulichen Restriktionen und die maximale Höhe des Regalsystems beachtet.



3.3 Dimensionierungsalgorithmus

In der entsprechenden Fachliteratur lässt sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Dimensionierungsalgorithmen finden. Die Algorithmen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Anfangsbedingungen. Alle Algorithmen teilen jedoch ihre iterative Natur. Analytische Methoden kommen lediglich zur Bestimmung der Anfangsbedingungen und zur Berechnung der Entscheidungsgrundlagen zum Einsatz.

Abbildung 3-7 zeigt exemplarisch einen möglichen Algorithmus zur Lagerdimensionierung für ein AKL nach ten Hompel (et al.).

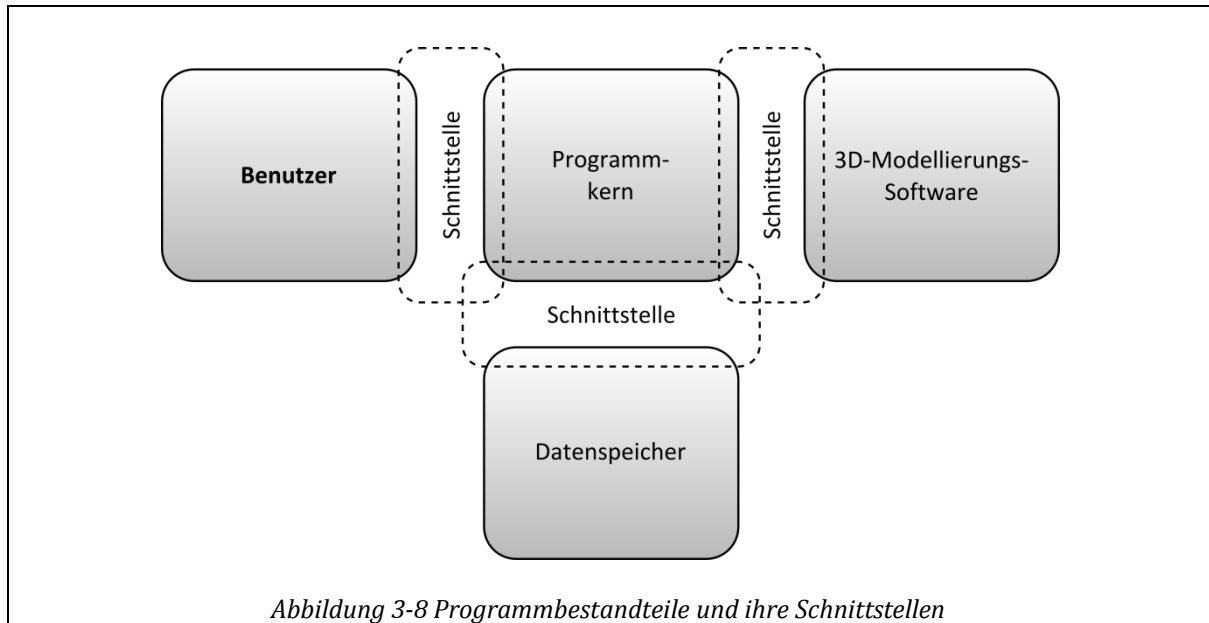


⁶⁹ vgl. [HVB11], S.229

3.4 Technologische Evaluierung

In einer grob abstrahierten Sichtweise kann man das System, das der Auslegung eines Hochregallagers dient, in die Bestandteile Programmkern, Datenspeicher und 3D-Modellierungssoftware gliedern. Der Programmkern stellt in dieser Betrachtung die Komponenten Editor, Inference Engine und Working Memory nach Milton⁷⁰ dar.

Wie in Abbildung 3-8 ersichtlich ist, werden drei Hauptschnittstellen zwischen diesen Programmbestandteilen benötigt. Technologisch soll das HRL-Tool mit einfach zugänglichen Mitteln, die auf einem Standard-PC vorhanden sind, funktionsfähig sein.



Programmkern

Der Programmkern muss über Funktionalitäten verfügen, die ihm erlauben, die im Datenspeicher vorhandenen, Daten entgegenzunehmen und sie der Berechnung zuzuführen.

Datenspeicher

Im Datenspeicher müssen alle für die Auslegung notwendigen Daten gespeichert werden können. In Erweiterung zu dieser Funktionalität muss der Datenspeicher auch die Möglichkeit bieten, ausgelegte Projekte persistent zu speichern.

3D-Modellierungssoftware

Innerhalb der 3D-Modellierungssoftware muss die Erstellung und Parametrisierung eines Modells des entsprechenden Hochregallagers möglich sein. Die Daten müssen über eine Schnittstelle entgegengenommen werden können.

⁷⁰ [MIL08], S.23

3.4.1 Programmkern und Datenspeicher

Für die Programmteile Programmkern und Datenspeicher wurde mit Microsoft Excel eine Gesamtlösung gefunden. Der Bestandteil der Microsoft Office Suite bietet Funktionalitäten zur tabellarischen Speicherung von Daten und die Möglichkeit die Daten weiterzuverarbeiten. In Kombination mit der integrierten Visual Basic for Applications (VBA) Umgebung ergibt sich die Möglichkeit zur iterativen Berechnung.

3.4.1.1 Schnittstellen

Durch die Wahl einer Gesamtlösung zur Realisierung des Programmkerns und des Datenspeichers vereinfacht sich die Gestaltung der Schnittstellen. Die Kombination aus Microsoft Excel und Visual Basic for Applications ermöglicht bei persistenter Datenspeicherung eine einfache Manipulation der vorhandenen Daten. Visual Basic for Applications integriert die Funktionalität zur Gestaltung grafischer Benutzeroberflächen in Form sogenannter User-Forms.

3.4.2 3D-Modellierungssoftware

Zur Erstellung eines 3D-Modells wurde das Programm Pro/Engineer der Parametric Technology Corporation gewählt. Die Softwarelösung bietet umfassende Möglichkeiten zur Erstellung detaillierter 3D-Modelle und Baugruppen. Die mit Pro/Engineer erstellten Modelle können vollständig parametrisiert werden und es wird eine Vielzahl an Möglichkeiten bereitgestellt, bestehende Modelle durch externe Programme zu manipulieren.

Pro/Engineer unterstützt eine robuste Variante zur Modellierung im Top-Down Verfahren in Form der integrierten Skelettmodellierung.

3.4.2.1 Schnittstellen

PTC Pro/Engineer bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten zur externen Programmsteuerung. Evaluiert wurden die Excel-Analyse, die Visual Basic API (application programming interface) und die Steuerung durch Trail-files.

Excel-Analyse

Eine Excel-Analyse bietet die Möglichkeit Parameter innerhalb eines Pro/Engineer-Modells zu steuern. Die Einbindung der Daten einer Excel-Datei erfolgt hierbei bidirektional, d.h. es können Maße oder Parameter eines Modells gesetzt und ausgelesen werden.⁷¹

- **Vorteile:**
 - Einfache Integrierung
 - Keine zusätzlichen Programmbestandteile erforderlich, da als Programmkern Microsoft Excel gewählt wurde
- **Nachteile:**
 - Eingeschränkter Funktionsumfang (keine direkte Steuerung des Pro/Engineer möglich)
 - Die Pfadangabe zur Excel-Datei wird absolut gespeichert, d.h. bei einer Datensicherung in Pro/Engineer beziehen sich die Informationen des gesicherten Modells auf die ursprüngliche Excel-Datei

⁷¹ [Lan10], S.29

Visual Basic API

Die Visual Basic API bietet die Möglichkeit zur asynchronen Steuerung einer Pro/Engineer-Instanz aus einer Vielzahl an Programmiersprachen. Die Kommunikation erfolgt über einen COM-Schnittstelle.

- **Vorteile:**
 - Gesamte Steuerung einer Pro/Engineer-Instanz möglich
 - Möglichkeit zur Reaktion auf Benutzereingaben innerhalb der Pro/Engineer-Instanz
- **Nachteile:**
 - Die Visual Basic API ist nicht in der Standardinstallation von Pro/Engineer enthalten
 - Umständliches Handling bei der Einbindung in Microsoft Excel

Steuerung durch Trail-files

Trail-files sind in ihrem ursprünglichen Zweck eine Möglichkeit zur Datensicherung innerhalb einer Pro/Engineer-Instanz. Das Trail-file wird automatisch bei der Benutzung von Pro/Engineer erstellt und enthält sämtliche Benutzereingaben. Durch Aufrufen des Trail-files mit Hilfe von Pro/Engineer lassen sich alle getätigten Benutzereingaben reproduzieren.

- **Vorteile:**
 - Gesamte Steuerung einer Pro/Engineer-Instanz möglich
 - Sehr robuste Variante zur Steuerung
 - Die Trail-files sind ASCII-codiert (American Standard Code for Information Interchange) und lassen sich dadurch sehr einfach manipulieren
- **Nachteile:**
 - Keine Reaktion auf Benutzereingaben möglich

4 KONKRETE UMSETZUNG

Durch die Evaluierung der technologischen Möglichkeiten lässt sich das Modell zur Darstellung der Programmbestandteile und ihrer Schnittstellen wie folgt darstellen.

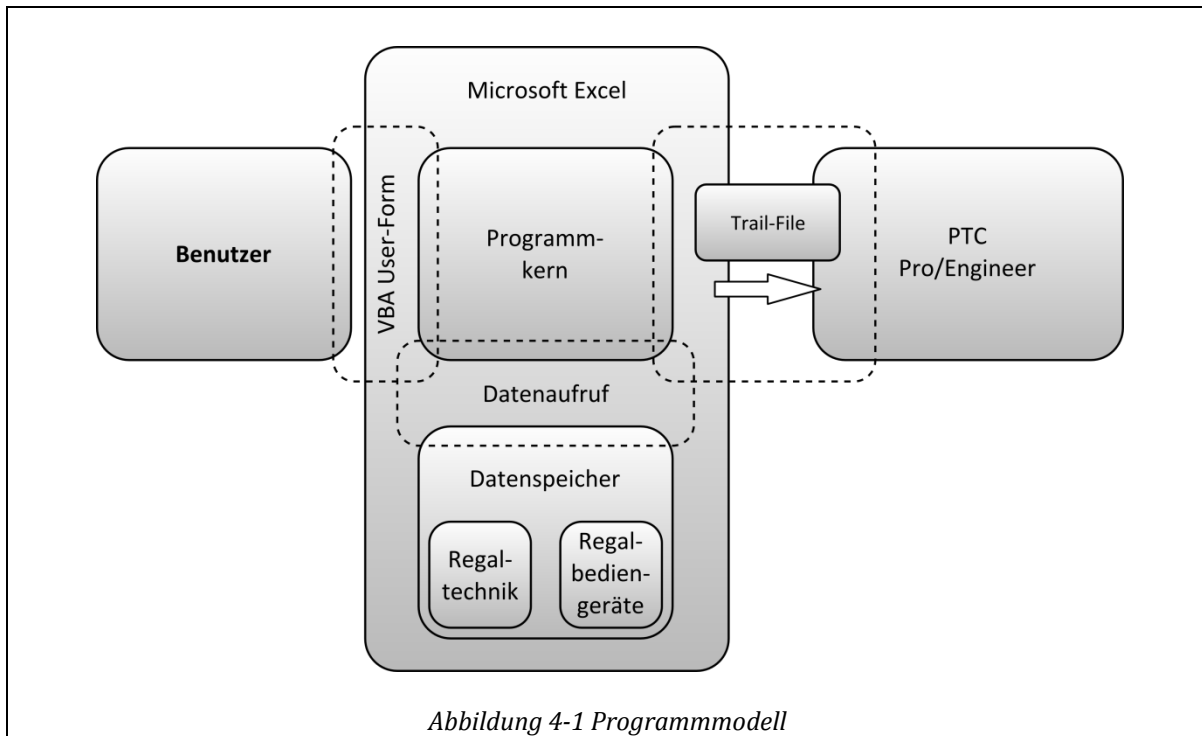


Abbildung 4-1 Programmmodell

Die Hauptkomponente des HRL-Tools wird mit Hilfe von Microsoft Excel realisiert. Als Datenspeicher dienen separate Excel-Tabellen, die durch VBA-Routinen ausgelesen und innerhalb einer VBA-Umgebung verarbeitet werden.

Die in VBA integrierte Möglichkeit zur Erstellung grafischer Benutzeroberflächen wird genutzt, um die Schnittstelle zwischen dem HRL-Tool und dem Benutzer zu realisieren.

Um das erstellte 3D-Modell zu manipulieren, wird die Steuerung durch Trail-files verwendet. Sie bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Steuerung einer Pro/Engineer-Instanz, ohne dass zusätzliche Programmbestandteile verwendet werden müssen. Hierfür wird ein Trail-file durch eine VBA-Routine erstellt und Pro/Engineer durch einen Kommandozeilenaufruf übergeben.

Abbildung 4-2 zeigt eine detaillierte Darstellung des Programmablaufs, in der die Aufteilung der einzelnen Programmfunktionen in die entsprechenden Komponenten des Programms gezeigt wird.

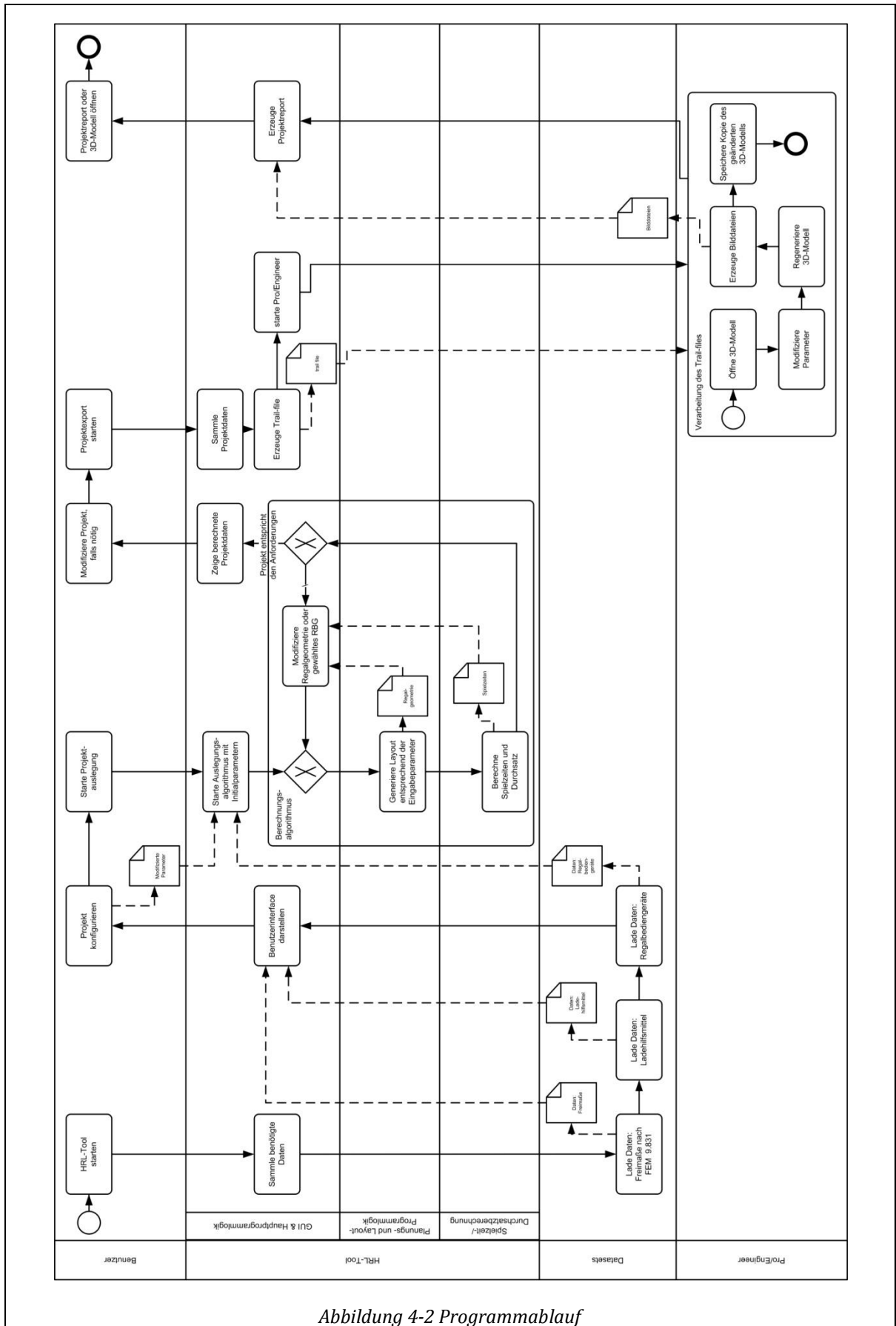
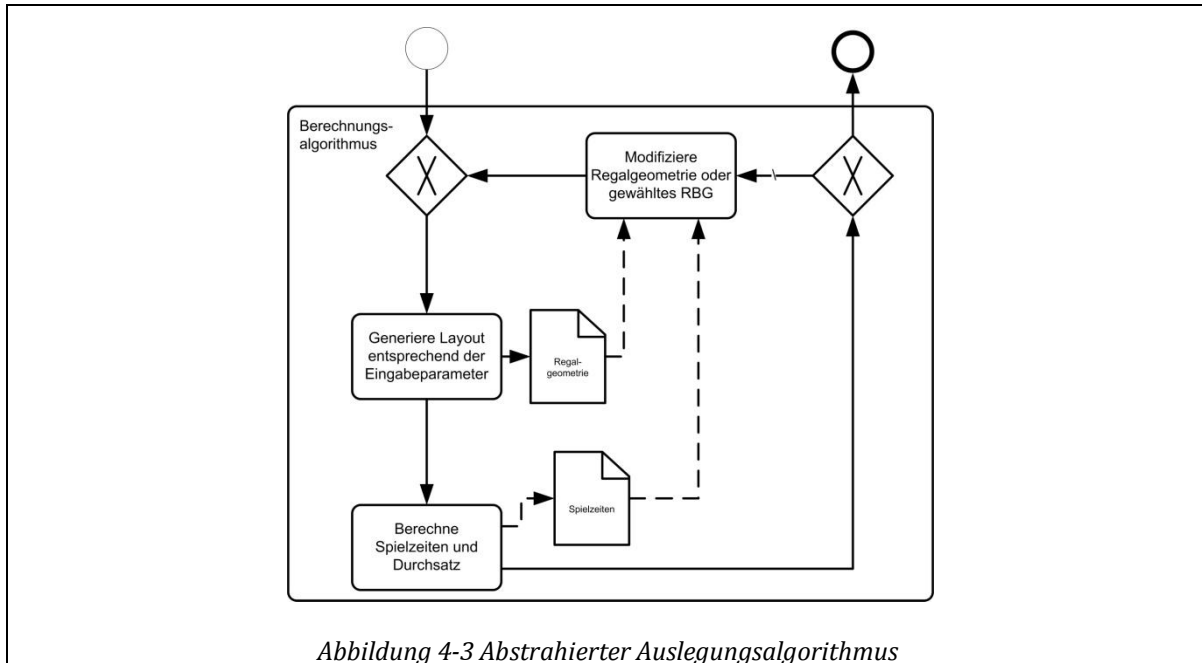


Abbildung 4-2 Programmablauf

4.1 Verwendeter Dimensionierungsalgorithmus

Basierend auf den in der entsprechenden Literatur vorhandene Auslegungsalgorithmen wurde ein Vorgehen zur Auslegung innerhalb des HRL-Tools entwickelt. Als größtes Unterscheidungsmerkmal sind die geänderten Anfangsbedingungen zu erwähnen.



Im Gegensatz zum Algorithmus nach ten Hompel (et al.) wird die Regalgeometrie nicht entsprechend der Kapazität ausgelegt. Als Auslegungsgrundlage dient der maximal erlaubte Bauraum des Lagers. Zu Beginn einer Auslegung wird die maximal erlaubte Höhe berechnet. Diese richtet sich nach der in den baulichen Restriktionen definierten, maximalen Höhe des Lagers und der maximal erreichbaren Höhe der Regalbediengeräte.

Die Regalwand wird entsprechend der Leistungsparameter des RBGs so ausgelegt, dass der Regalwandparameter innerhalb der definierten Grenzen liegt. Nach der Berechnung des möglichen Durchsatzes wird das ausgelegte Lager hinsichtlich der erreichbaren Kapazität und der Durchsatzwerte bewertet. Weicht einer dieser Parameter von den Zielvorgaben ab, wird entsprechend einer getroffenen Unterscheidung die Regalgeometrie oder das Regalbediengerät modifiziert.

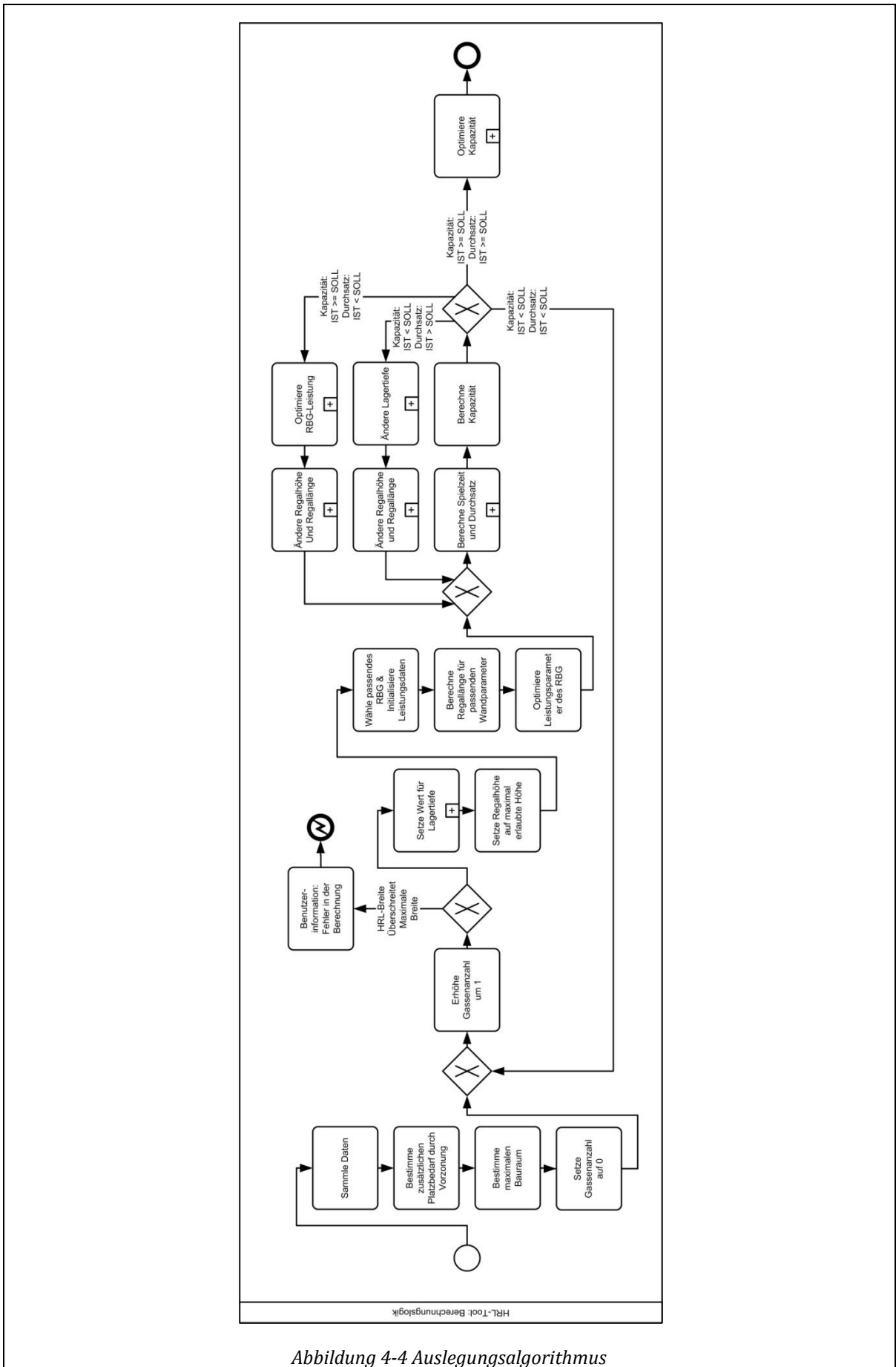


Abbildung 4-4 Auslegungsalgorithmus

4.2 RBG-Clustering

Die Daten der in der Marktanalyse eruierten Regalbediengeräte können nicht direkt im verwendeten Berechnungsalgorithmus verwendet werden. Dies gründet vor allem auf der Tatsache, dass sich die meisten Herstellerangaben als maximal erreichbare Werte verstehen. Das bedeutet, dass bei diversen Herstellerangaben z.B. die maximale Nutzlast und die maximal erreichbaren Leistungskennwerte in einem Regalbediengerät nicht realisiert werden können.

Deshalb wurden die Regalbediengeräte in Cluster gruppiert, um sie in der Berechnungslogik des HRL-Tools verwenden zu können. Das Clustering erfolgt in erster Linie nach der Art der verwendbaren Ladehilfsmittel. Der RBG-Cluster für Hochregallager (Tabelle 4-1) stellt somit den Querschnitt der Regalbediengeräte für Paletten, der RBG-Cluster für automatische Kleinteilelager (Tabelle 4-2) den Querschnitt für Behälter dar.

Die nach dem Ladehilfsmittel gruppierten Cluster wurden detaillierter in Gruppen entsprechend der maximal erreichbaren Höhe gruppiert. Die auf diesem Weg definierten Gruppen können im HRL-Tool verwendet werden und bilden den Großteil der RBG nach Herstellerangaben ab.

Tabelle 4-1 RBG-Cluster für HRL

	Höhe max	Höhe min	Fahrge- schwindigkeit v_F	Fahrbe- schleunigung a_F max	Hubge- schwindigkeit v_H	Hubbe- schleunigung a_H max	Gabel- spielzeit ET	Gabel- spielzeit DT
	[m]	[m]	[m/min]	[m/s ²]	[m/min]	[m/s ²]	[s]	[s]
$h \leq 5$	15	5	4,00	1,00	2,00	1,00	7	9
$15 < h \leq 20$	20	15	3,83	1,00	1,83	1,00	8	11
$20 < h \leq 25$	25	20	3,67	0,90	1,67	1,00	9	13
$25 < h \leq 30$	30	25	3,50	0,80	1,50	1,00	10	15
$30 < h \leq 35$	35	30	3,33	0,70	1,33	1,00	11	16
$35 < h \leq 40$	40	35	3,17	0,60	1,17	1,00	12	17
$40 < h \leq 45$	45	40	3,00	0,50	1,00	1,00	13	18

Tabelle 4-2 RBG-Cluster für AKL

	Höhe max	Höhe min	Fahrge- schwindigk eit v_F	Fahrbe- schleunigung a_F max	Hubge- schwindigk eit v_H	Hubbe- schleunigung a_H max	Gabel- spielzeit ET	Gabel- spielzeit DT
	[m]	[m]	[m/min]	[m/s ²]	[m/min]	[m/s ²]	[s]	[s]
$h \leq 5$	5	1	5,00	3,00	3,00	2,00	2,5	4
$5 < h \leq 8$	8	5	4,83	3,00	2,83	2,00	2,5	4
$8 < h \leq 11$	11	8	4,67	3,00	2,67	2,00	2,5	4
$11 < h \leq 14$	14	11	4,50	3,00	2,50	2,00	2,5	4
$14 < h \leq 17$	17	14	4,33	3,00	2,33	2,00	2,5	4
$17 < h \leq 20$	20	17	4,17	3,00	2,17	2,00	2,5	4
$20 < h \leq 23$	23	20	4,00	1,50	1,33	1,50	2,5	4

4.3 3D-Modell

Das erstellte 3D-Modell ist in Top-Down-Modellierung erstellt und soweit parametrisiert, dass es ein Hochregallager für Paletten und ein automatisches Kleinteilelager darstellen kann. Die beiden in Abbildung 4-5 dargestellten Modelle stellen parametrisierte Ausprägungen des gleichen Ausgangsmodells dar.

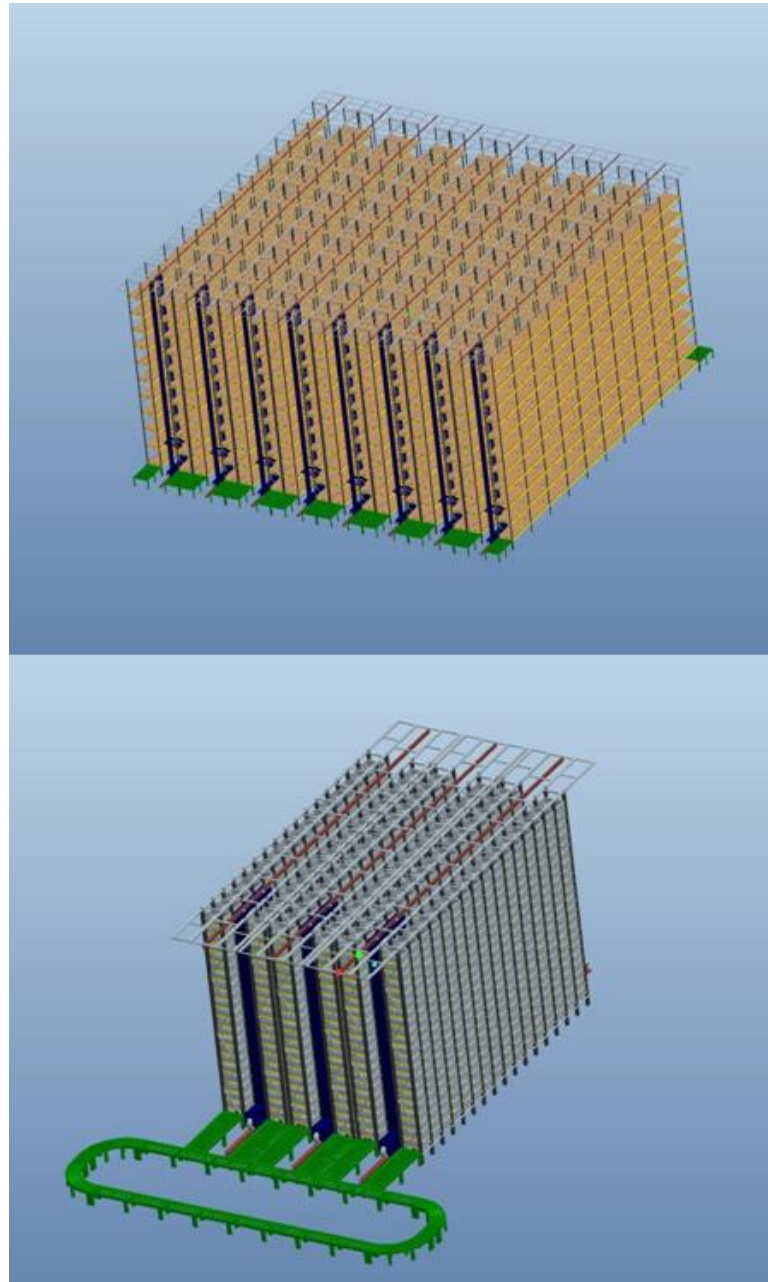


Abbildung 4-5 Abgeleitete Modelle

Um dieses Verhalten zu erreichen, wurde die Top-Down-Modellierung angewandt. Das bedeutet, dass innerhalb der Hauptbaugruppe ein Skelett-Modell verwendet wird, das die gesamte Baugruppe steuert.

4.3.1 Skelett-Modell

Das verwendete Skelett-Modell definiert vor allem die Referenzpositionen und die Ausrichtung der Unterbaugruppen untereinander. Des Weiteren sind die Position und Geometrie der Vertikalsteher und der Führungsschiene des RBG modelliert.

Um die Übernahme der vorhandenen Referenz- und Geometrieinformationen an die entsprechenden Unterbaugruppen zu ermöglichen, wurden Publiziergeometrien definiert die in den Unterbaugruppen als Kopiergeometrien eingebunden wurden.

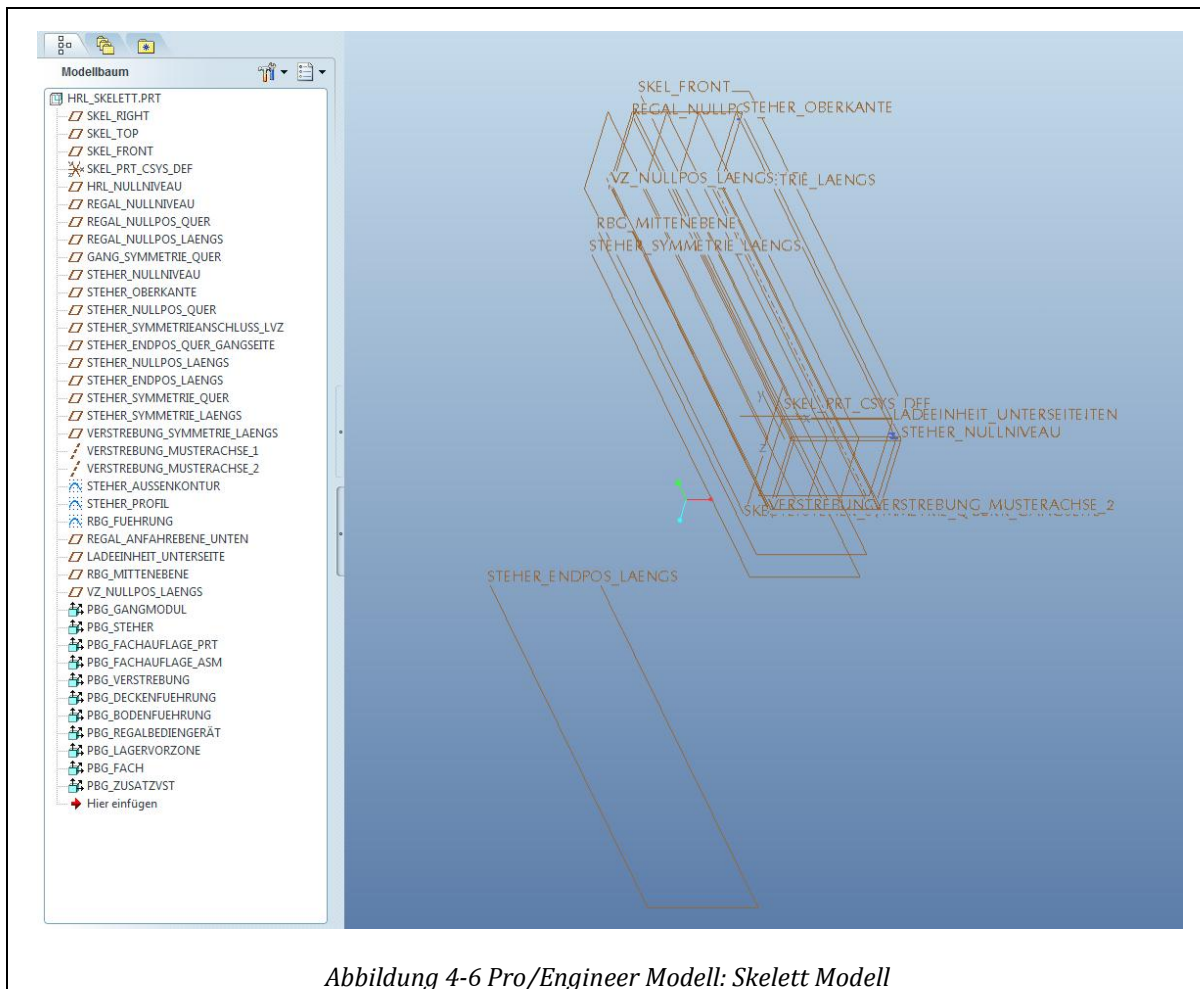


Abbildung 4-6 Pro/Engineer Modell: Skelett Modell

4.3.2 Gesamtbaugruppe

Das 3D-Modell wurde entsprechend der Systematisierung (Kapitel 3.2) erstellt. So besteht das Modell in oberster Baugruppenebene aus Untebraugruppen, die die Lagervorzonon und die Regalgassen sowie das Skelett-Modell enthalten.

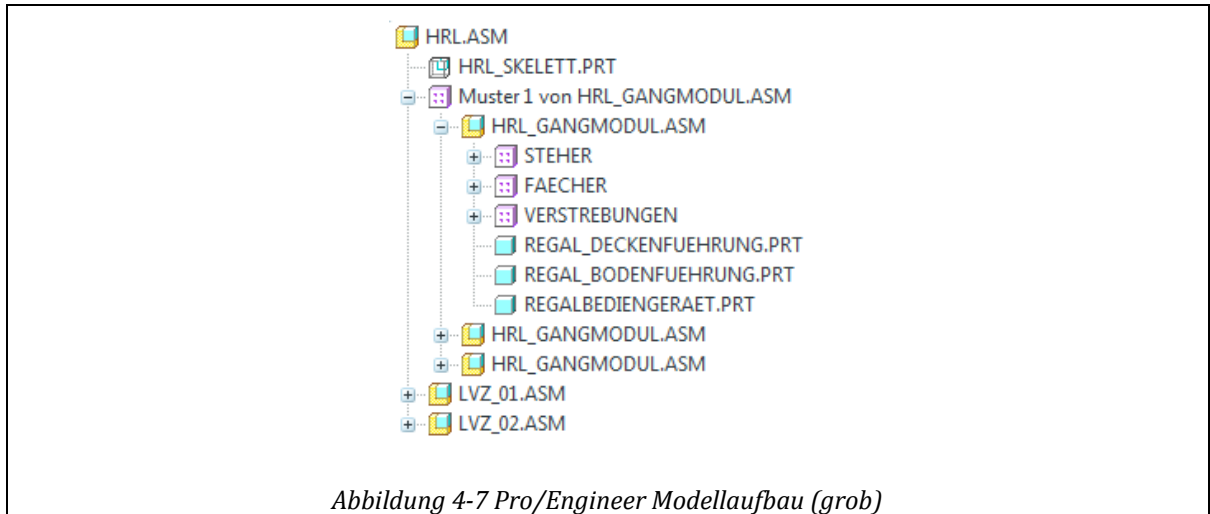


Abbildung 4-7 Pro/Engineer Modellaufbau (grob)

Das Gangmodul wird in einem axialen Muster entsprechend den Vorgaben vervielfacht.

4.3.3 Gangmodul

Das Gangmodul enthält ein Muster der Vertikalsteher des Regals, die Regalauflagen und die Ladeeinheiten, sowie das Regalbediengerät und die benötigten Führungsschienen.



Abbildung 4-8 Pro/Engineer Modellaufbau eines Gangmoduls

Abbildung 4-9 zeigt das Modell eines Gangmoduls für ein Hochregallager.

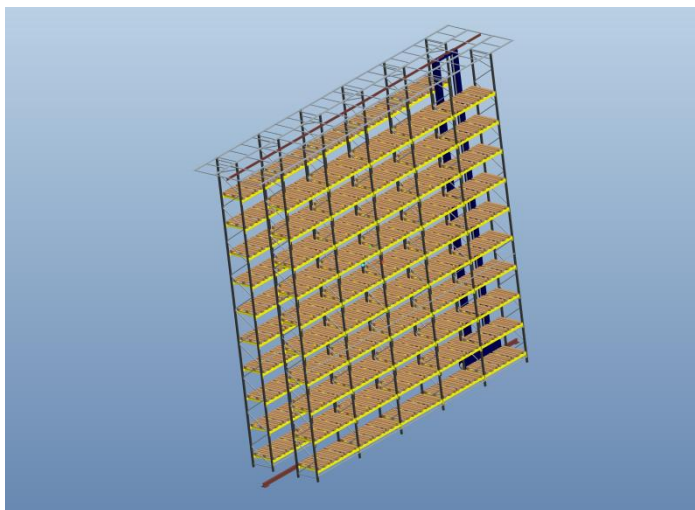


Abbildung 4-9 Pro/Engineer-Modell Gangmodul

4.4 Manipulation des 3D-Modells

Zur Manipulation des 3D-Modells werden vor allem zwei Techniken verwendet: Die Modell-Steuerung durch Beziehungen und das Pro/Program. Mit Hilfe von Beziehungen lassen sich im Modell verwendete Bemaßungen durch Parameterwerte steuern. Codeabschnitt 4-1 zeigt exemplarisch die Steuerung einiger Hauptreferenzen, die im Skelett-Modell verwendet werden.

Codeabschnitt 4-1 Pro/Engineer Beziehungen zur Baugruppenreferenzierung

```

1  D0:0 = REF_NULLNIVEAU_HRL           /* VERTIKALABSTAND: SKELETT -
   HRL
2  D1:0 = REF_NULLNIVEAU_REGAL         /* VERTIKALABSTAND: HRL - REGAL
3  D2:0 = REF_NULLNIVEAU_STEHER        /* VERTIKALABSTAND: REGAL -
   STEHER
4
5  D3:0 = REF_NULLPOS_REGAL_QUER       /* QUERABSTAND: SKELETT - REGAL
6  D4:0 = REF_NULLPOS_REGAL_LAENGS     /* LÄNGSABSTAND: SKELETT -
   REGAL
7  D5:0 = REF_NULLPOS_STEHER_QUER      /* QUERABSTAND: REGAL - STEHER
8  D7:0 = REF_NULLPOS_STEHER_LAENGS    /* LÄNGSABSTAND: REGAL - STEHER
9  D47:0 = FACH_ABM_QUER_INKL_STEHER   /* ENDPOSITION STEHER GANGSEITE
10 D48:0 = FACH_ABM_QUER_INKL_STEHER / 2 /* SYMMETRIEBENE:
   ANSCHLUSSEBENE LVZ
11 D26:0 = REGAL_ANFAHRMAß_UNTEN       /* VERTIKALABSTAND:
   REGAL - UNTERES ANFAHRMASS
12 D27:0 = REGAL_ABST_ANFAHRMAßUNTEN_LE /* VERTIKALABSTAND:
   UNTERES ANFAHRM. - LADEEINHEIT

```

Das Programmmodul Pro/Program von Pro/Engineer findet in der Steuerung des Einbaus von Komponenten Verwendung.

Das Aussehen der Lagervorzonen wird zum Beispiel mit dieser Technik gesteuert. Wie in Codeabschnitt 4-2 zu sehen ist, kann der Einbau der Baugruppe LVZ_01_RB_2 durch die gegebene Bedingung manipuliert werden.

Codeabschnitt 4-2 Steuerung durch das Pro/Program

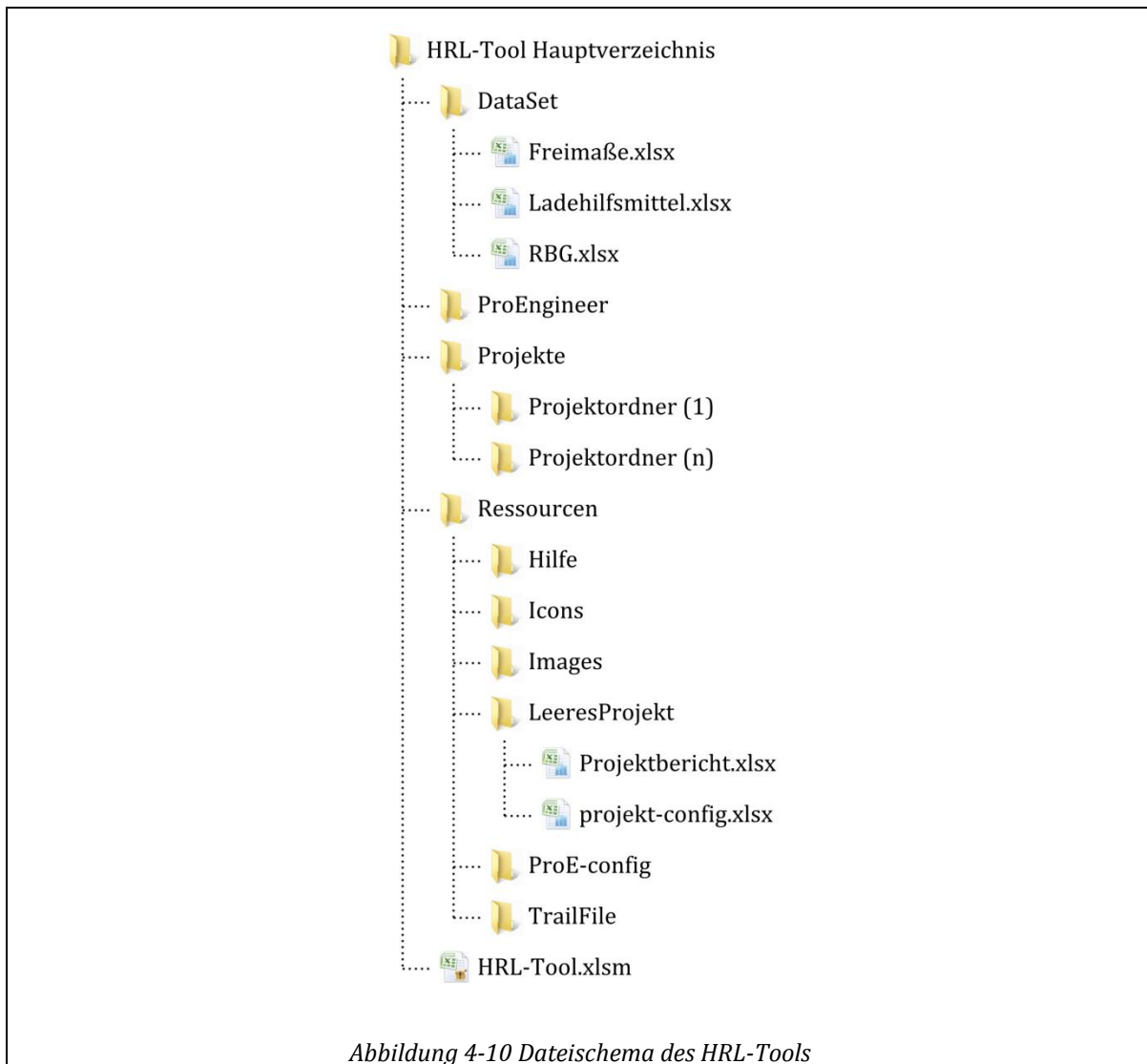
```

1      IF LVZ_TYP ~= "LEER" & LVZ_TYP ~= "LVZ_1"
2          ADD PART LVZ_01_RB_2
3          INTERNAL COMPONENT ID 57
4          Eltern = 7992(#7)
5          END ADD
6      END IF
7
8      IF LVZ_TYP == "LOOP_1" | LVZ_TYP == "LOOP_3"
9          ADD PART LVZ_01_RB_RADIUS
10         INTERNAL COMPONENT ID 62
11         Eltern = 57(#8)
12         END ADD
13     END IF

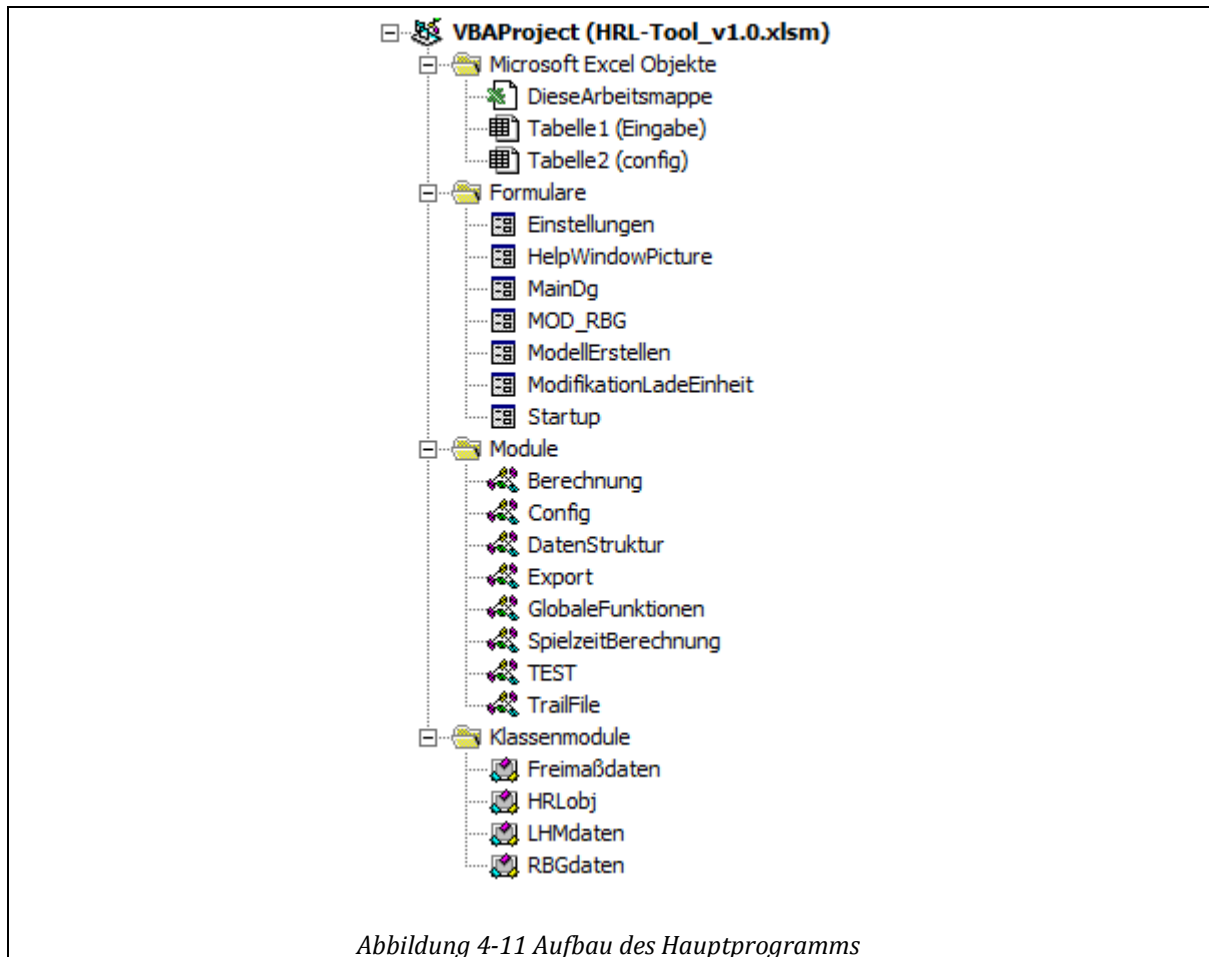
```

4.5 Programmaufbau

Das Programm ist in mehrere Bestandteile untergliedert. Hier ist vor allem zu erwähnen, dass die Datenspeicher getrennt von der Programmlogik gegliedert sind. Die Tabellen zur Speicherung der Daten befinden sich im Unterordner „DataSet“, die eigentliche Programmlogik befindet sich in der Datei „HRL-Tool.xlsm“.



Das Hauptprogramm ist als VBA Programm innerhalb von Microsoft Excel erstellt. Die Formulare stellen die grafischen Benutzeroberflächen des HRL-Tools dar.



Programmmodule

Das HRL-Tool gliedert sich in mehrere Programmmodule, die diverse Aufgaben erfüllen:

- **Modul „Berechnung“:** Berechnung der Regalgeometrie, Auslegungsalgorithmus
- **Modul „Config“:** Laden/Speichern der Programmkonfiguration, Laden/Speichern von Projektdaten
- **Modul „DatenStruktur“:** Definition der verwendeten Datenstrukturen zur weiteren Verwendung
- **Modul „Export“:** Erstellung der Projektberichte
- **Modul „GlobaleFunktionen“:** Funktionen zum Debugging des Programms
- **Modul „SpielzeitBerechnung“:** Spielzeitberechnung nach FEM
- **Modul „TrailFile“:** Erstellung des Trail-files

4.6 Projektverwaltung

Die Projektverwaltung des HRL-Tools wird mit dem Start des Programms angezeigt. In diesem Teil des Benutzerinterfaces hat der Benutzer die Möglichkeit

- ein bereits bestehendes Projekt zu öffnen
- ein neues Projekt zu generieren und
- bestehende Projekte zu löschen

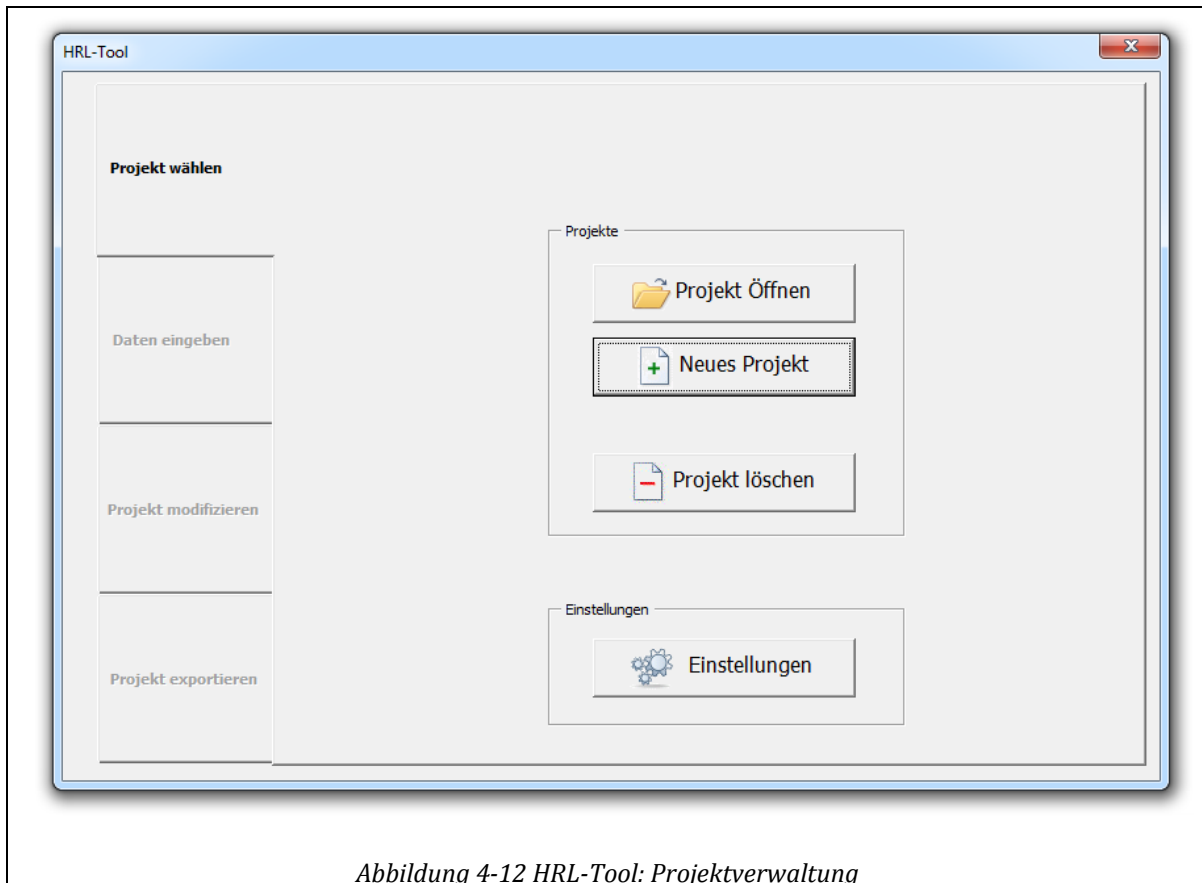


Abbildung 4-12 HRL-Tool: Projektverwaltung

Die Daten der Projekte werden gesammelt im Unterordner „Projekte“ gespeichert. Jedes Projekt wird in einem separaten Ordner gespeichert und enthält eine Datei zur Konfigurierung des Projekts („projekt-config.xlsx“), den Projektreport („Projektbericht.pdf“ und „Projektbericht.xlsx“) sowie einen Unterordner („Ergebnis“), in dem die Daten des 3D-Modells gespeichert sind.

4.7 Konfigurierungsmöglichkeiten

Nach der Auswahl eines Projekts gelangt man zur Dateneingabe. Die verwendeten Parameter sind in erforderliche und optionale Einstellungen gegliedert. Die erforderlichen Einstellungen stellen Parameter dar die für jedes Projekt einzigartig sind.

4.7.1 Erforderliche Einstellungen

- **Kapazität:** Mindestkapazität des Lagers
Des Weiteren werden in dieser Einstellungsgruppe das Ladehilfsmittel sowie das Eigenschaftenprofil des Ladehilfsmittels gewählt. Das Eigenschaftenprofil bietet die Möglichkeit zur detaillierteren Konfiguration der Ladeeinheit.
- **Nutzlast:** Maximal verwendete Nutzlast der Ladeeinheit
- **Durchsatz:** In dieser Einstellungsgruppe kann der erforderliche Durchsatz des Lagers gewählt werden. Die einzelnen Durchsätze (für Einlagerspiele, Auslagerspiele und kombinierte Spiele) addieren sich zum Gesamtdurchsatz des Lagers.

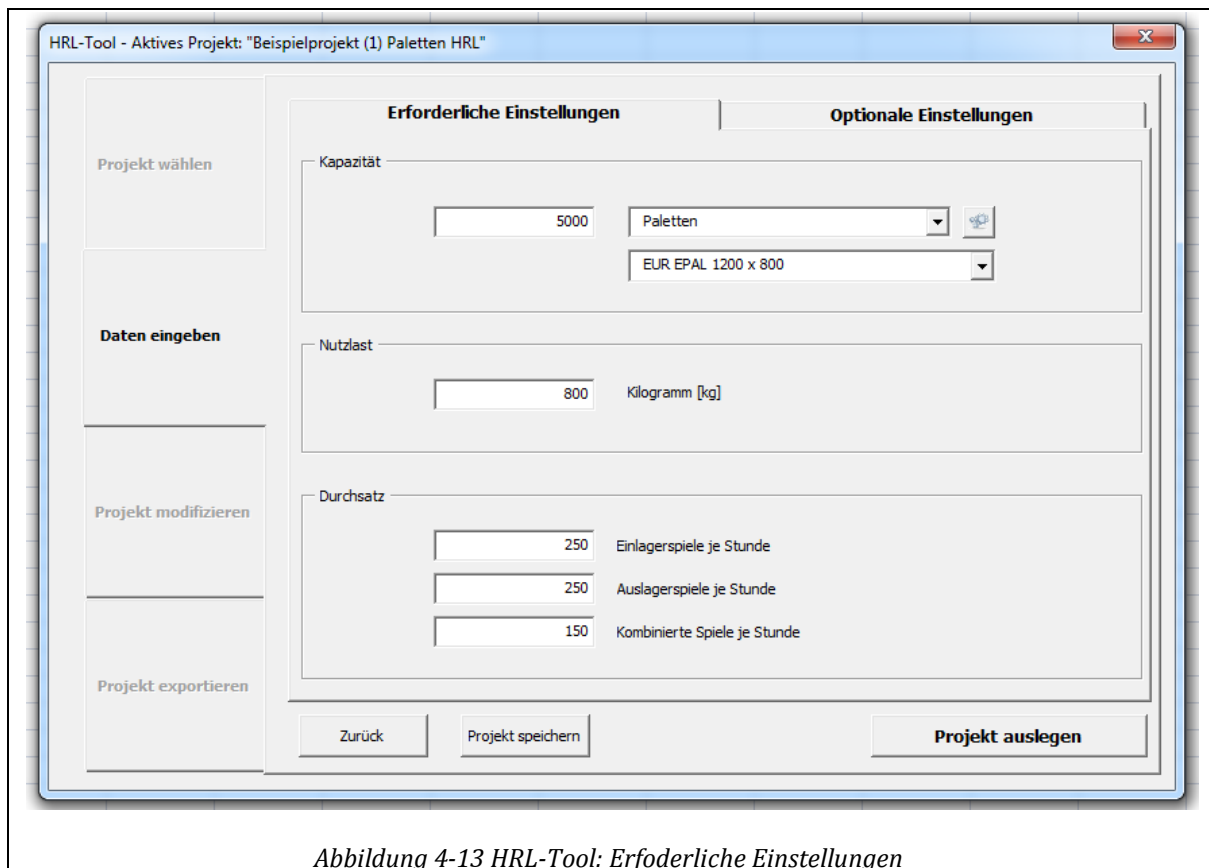


Abbildung 4-13 HRL-Tool: Erforderliche Einstellungen

4.7.2 Optionale Einstellungen

Als optionale Einstellungen sind alle Parameter zu verstehen für die Standardwerte hinterlegt sind oder die vom HRL-Tool innerhalb des Auslegungsalgorithmus automatisch gewählt werden.

Zur einfachen Handhabung durch den Benutzer wurden die optionalen Parameter in folgende Gruppen untergliedert:

- Ein-/Auslagerpunkt
- Spielzeitberechnung
- Regalbediengerät
- Randbedingungen
- Bauliche Restriktionen
- Freimaße
- Lagerung
- Vorzonung

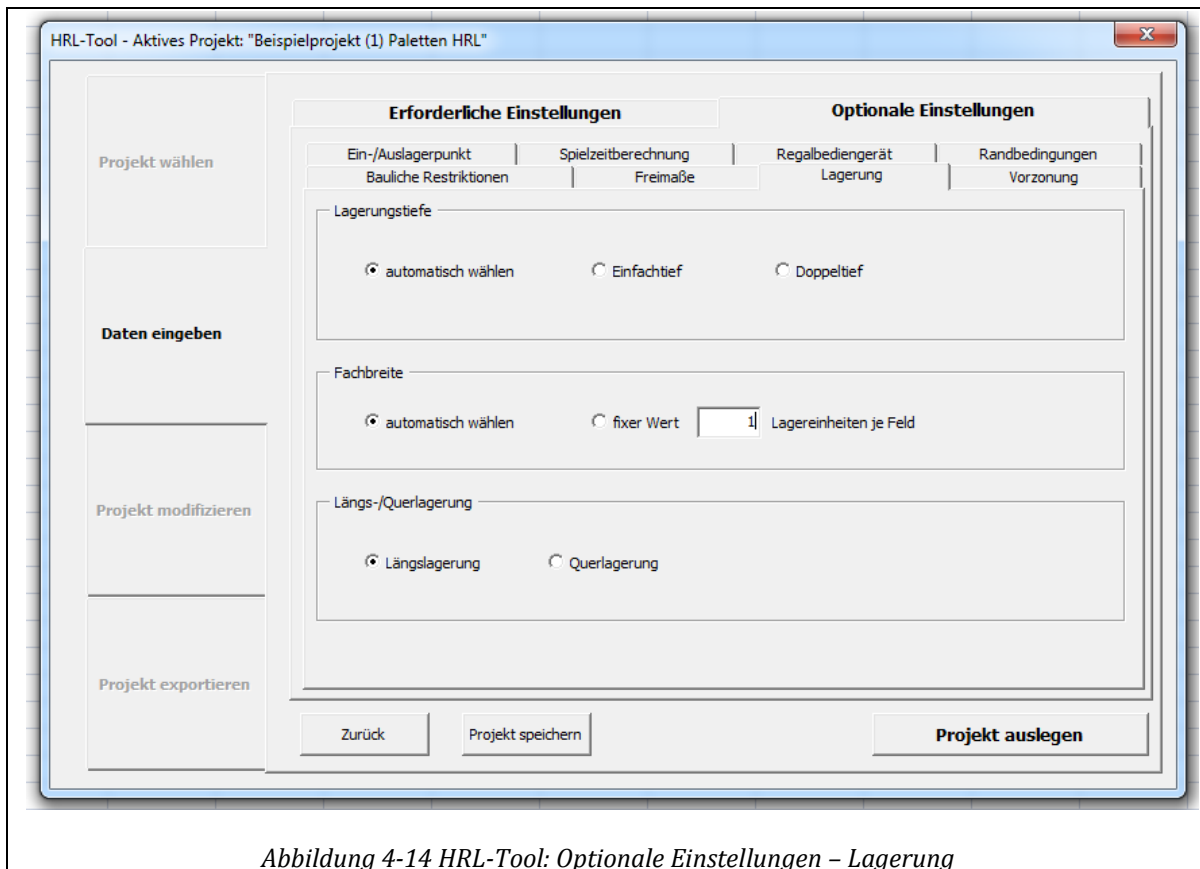


Abbildung 4-14 HRL-Tool: Optionale Einstellungen – Lagerung

5 BEISPIELAUSFÜHRUNG

Für eine praktische Beschreibung des HRL-Tools wird in diesem Kapitel exemplarisch ein Hochregallager ausgelegt.

Das auszulegende Hochregallager soll die folgenden Anforderungen erfüllen:

- **Kapazität:** 5000 Euro-Paletten 1200 x 800 mm
Gesamthöhe der Ladeinheit: 800 mm
Gesamtmasse der Ladeinheit: 800kg
- **Durchsatz:** 250 Einzelspiele Einlagerung je Stunde
250 Einzelspiele Auslagerung je Stunde
100 kombinierte Spiele je Stunde
- **Ein-/Auslagerung:** Die Ein- und Auslagerung soll am linken unteren Eckpunkt des Regals erfolgen; das Lager soll über eine einfache, drei Meter lange Übergabezone zur Verfügung

5.1 Projekt Erstellen

Um ein neues Projekt zu erstellen, wählt man in der Projektverwaltung den Menüpunkt „Neues Projekt“. Im sich darauf öffnenden Dialogfenster wird der Name des neuen Projekts festgelegt.

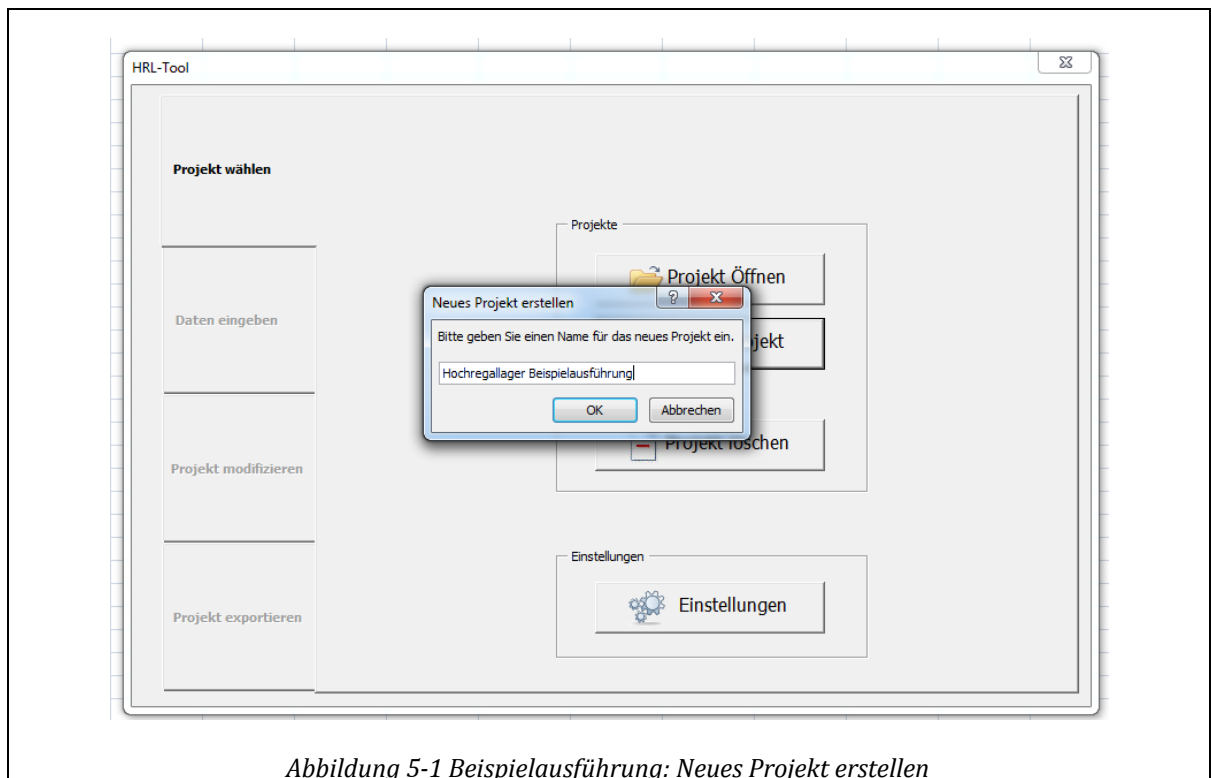


Abbildung 5-1 Beispielausführung: Neues Projekt erstellen

5.2 Parametereingabe

Die, die Kapazität und den Durchsatz betreffenden, Parameter finden sich unter „Erforderliche Einstellungen“. Die entsprechenden Vorgaben müssen in die dafür vorgesehenen Felder des Nutzerinterface eingegeben werden.

The screenshot shows the 'HRL-Tool - Aktives Projekt: "Hochregallager Beispielausführung"' window. It is divided into two main sections: 'Erforderliche Einstellungen' (Required Settings) and 'Optionale Einstellungen' (Optional Settings). On the left, there are buttons for 'Projekt wählen', 'Daten eingeben', 'Projekt modifizieren', and 'Projekt exportieren'. The 'Erforderliche Einstellungen' section contains three input areas: 'Kapazität' with a text box containing '5000', a dropdown menu set to 'Paletten', and another dropdown menu set to 'EUR EPAL 1200 x 800 x 800'; 'Nutzlast' with a text box containing '800' and the unit 'Kilogramm [kg]'; and 'Durchsatz' with three text boxes containing '250', '250', and '150', corresponding to 'Einlagerspiele je Stunde', 'Auslagerspiele je Stunde', and 'Kombinierte Spiele je Stunde' respectively. At the bottom, there are buttons for 'Zurück', 'Projekt speichern', and 'Projekt auslegen'.

Abbildung 5-2 Beispielausführung: Parametereingabe Kapazität, Ladeinheit und Durchsatz

Sollte sich das benötigte Ladehilfsmittel nicht unter den gespeicherten Eigenschaftsprofilen befinden, kann ein neues Profil durch das Einstellungsmenü an der rechten Seite angelegt werden. In der aufgerufenen Excel-Tabelle muss eine neue Datenzeile mit den entsprechenden Werten eingefügt werden.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'Ladehilfsmittel.xlsx - Microsoft Excel'. The table contains the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		6	Ladehilfsmittel		LE inkl Lastüberstand		Gesamthöhe	
2	Ladehilfsmittel: Eigenschaftenprofil	Höhe [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	[mm]	
3	EUR EPAL 600 x 800	144	600	800	600	800	1200	
4	EUR EPAL 1200 x 800	144	800	1200	800	1200	1200	
5	Industriepalette 900kg	144	1000	1200	1000	1200	1350	
6	Industriepalette 2000kg	144	1000	1200	1000	1200	1400	
7	EUR EPAL 1200 x 800 x 800	144	800	1200	800	1200	800	
8								
9								
10								

The row for 'EUR EPAL 1200 x 800 x 800' (row 7) is highlighted with a red border in the original image.

Abbildung 5-3 Beispielausführung: Anlegen eines neuen Ladehilfsmittelprofils

Die Einstellungen zur Lagervorzonung finden sich innerhalb der optionalen Einstellungen in der Registerkarte Vorzonung. Hier können der Typ der Lagervorzone (einfache Übergabezone oder Palettenloop) und die Geometrie der Lagervorzone gewählt werden.

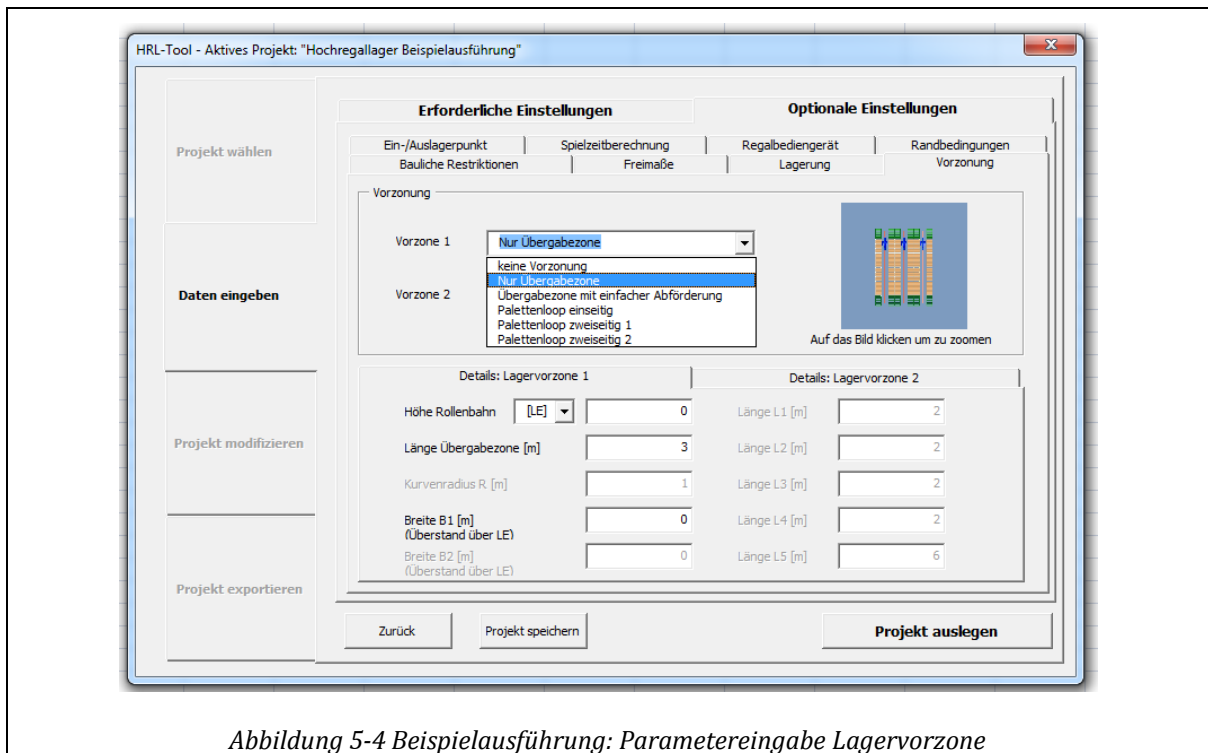


Abbildung 5-4 Beispielausführung: Parametereingabe Lagervorzone

Die Ein- und Auslagerpunkte können entsprechend der sechs in der Richtlinie FEM 9.851, unterschiedenen Testfälle konfiguriert werden. Die Abstände der Punkte (falls im entsprechenden Testfall vorgesehen) können entweder in Ladeeinheiten oder Metern angegeben werden.

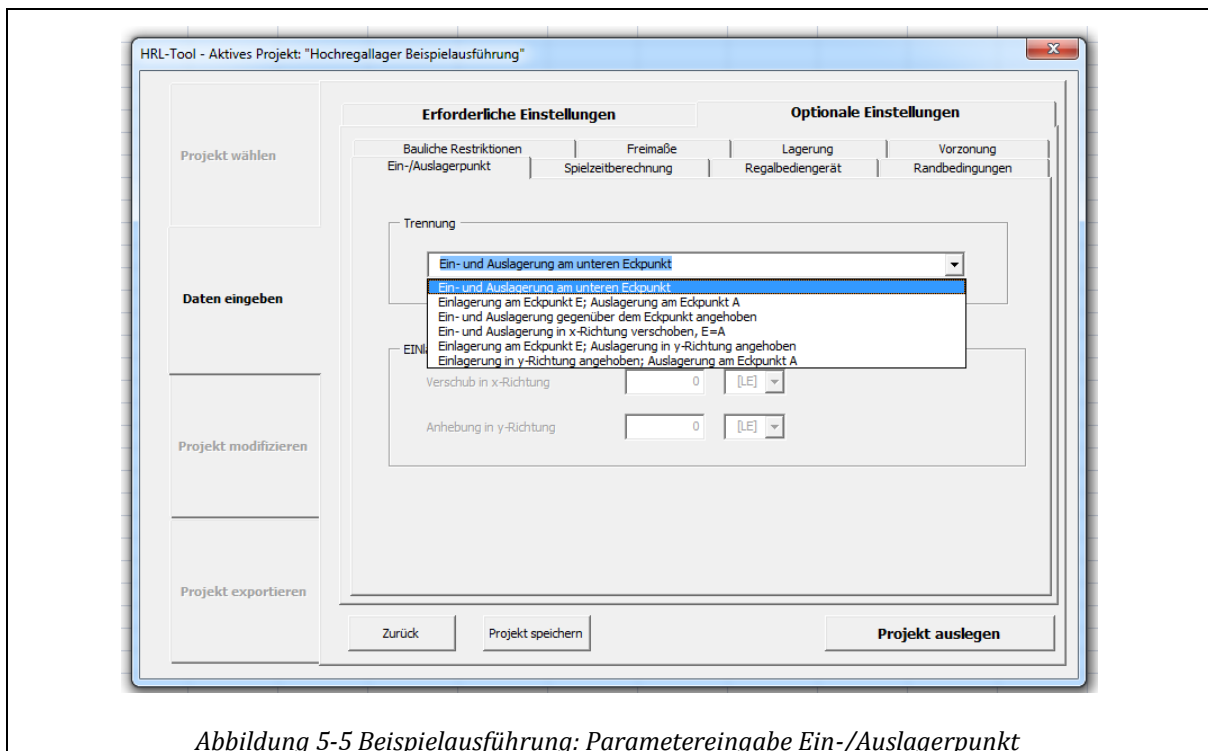


Abbildung 5-5 Beispielausführung: Parametereingabe Ein-/Auslagerpunkt

5.3 Projektauslegung

Die Auslegung des Projekts erfolgt durch das Anwählen des Kontrollknopfes im rechten unteren Teil des Benutzerinterfaces. Nach einer erfolgreichen Auslegung des Projektes werden die wichtigsten Ergebnisse in einer Übersicht zusammengefasst.

Die Regalgeometrie lässt sich in diesem Auslegungsschritt frei vom Benutzer ändern. Die Modifikation der Regalgeometrie wird direkt analysiert und die abhängigen Parameter aktualisiert. So lassen sich zum Beispiel die Auswirkungen einer Änderung an der Regalhöhe auf den Durchsatz schnell erkennen. Die Icons am rechten Rand geben Aufschluss darüber, ob sich die entsprechenden Parameter noch innerhalb der definierten Grenzen befinden.

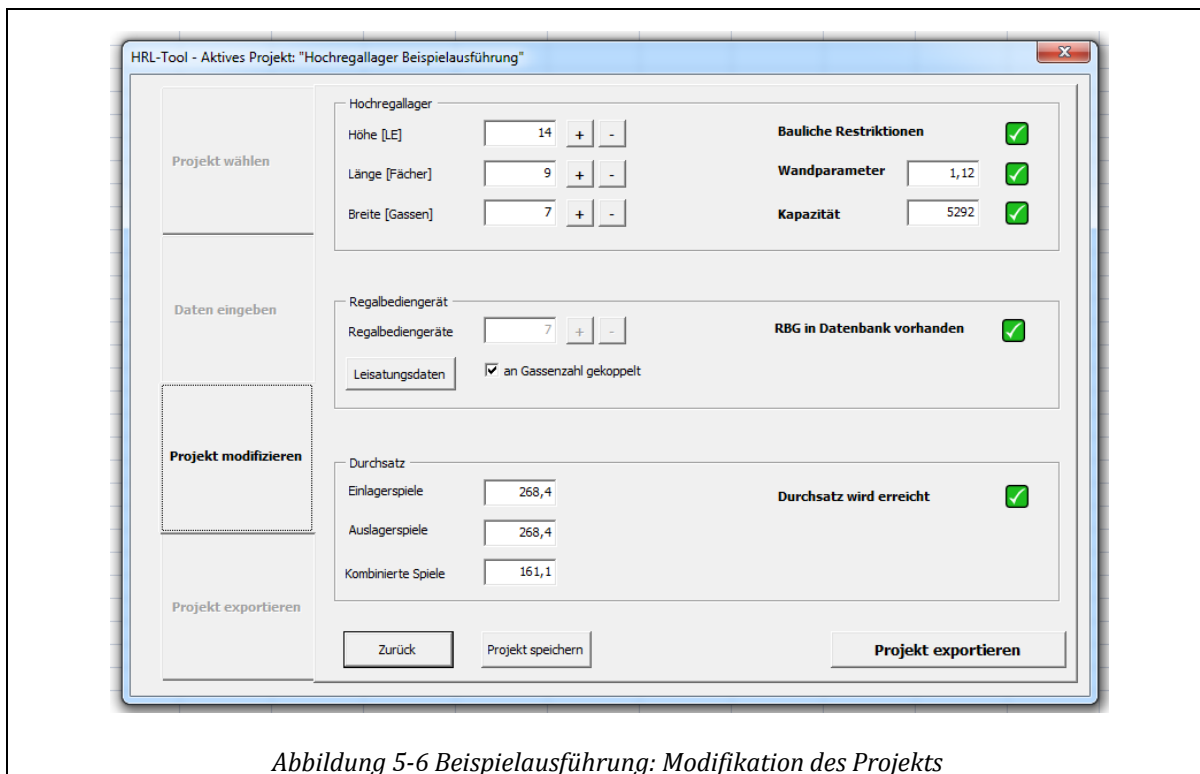


Abbildung 5-6 Beispielausführung: Modifikation des Projekts

Mit den eingegebenen Daten errechnet das HRL-Tool ein 7-gassiges Lager mit einer Regalwand von 14 Ladeeinheiten Höhe und 9 Fächern (3 Ladeeinheiten je Fach) Breite, das von sieben gassengebundenen Regalbediengeräten versorgt wird. Diese Regalabmessungen entsprechen einer Lagerkapazität von 5292 Ladeeinheiten.

5.4 Ergebnis/Projektexport

Nach Betätigung der Menüschaltfläche zum Projektexport erfolgen die Erstellung des Trail-files und die Übergabe an Pro/Engineer. Nach der Manipulation und Regenerierung des 3D-Modells werden durch Pro/Engineer Bilder des Hochregallagers erstellt und im Projektbericht mit den errechneten Auslegungswerten eingefügt.

Der erstellte Projektbericht gliedert sich in zwei Hauptteile. Im ersten Teil werden die errechneten Lagerabmessungen, die Leistungsdaten sowie alle zum Regalbediengerät gehörenden Daten zusammengefasst (siehe Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8)⁷².

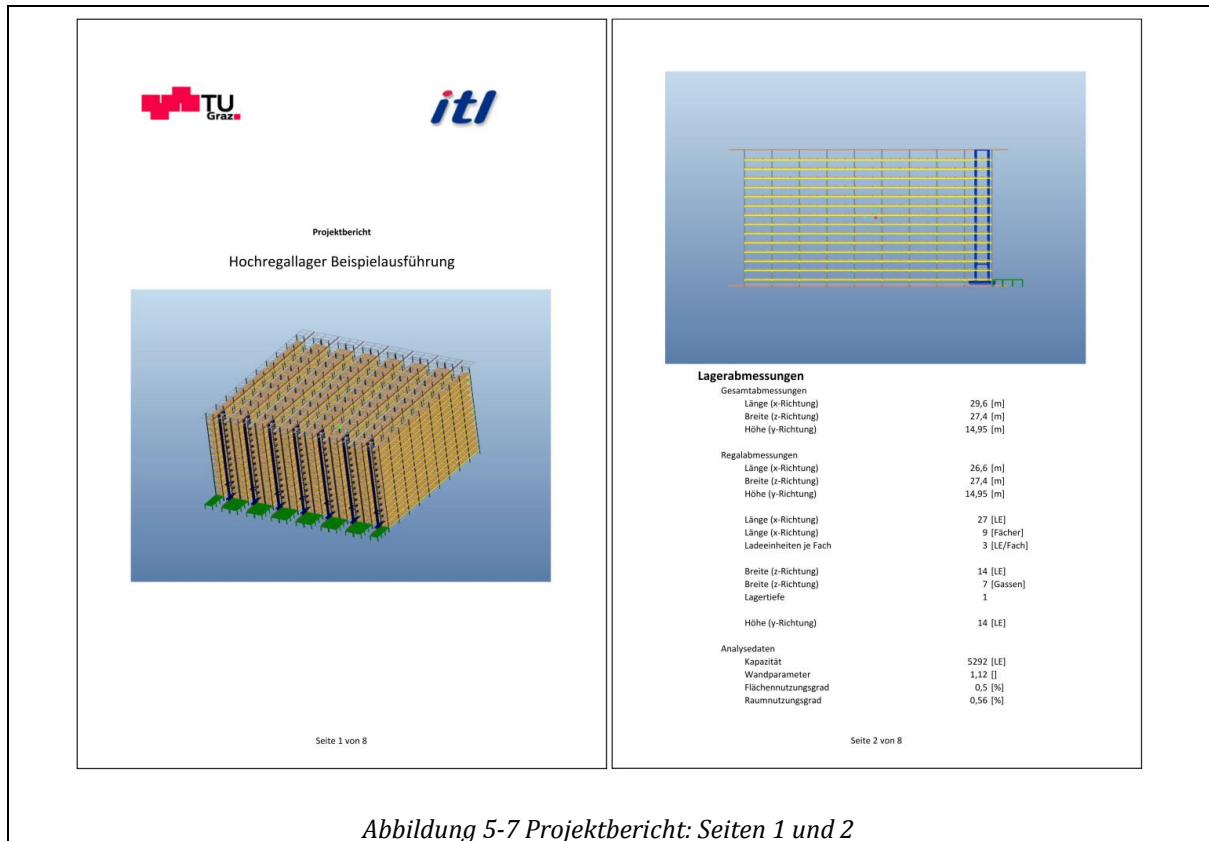


Abbildung 5-7 Projektbericht: Seiten 1 und 2

Den Abschluss des ersten Teils bildet eine Auflistung der Regalbediengeräte, die für den Einsatz im ausgelegten Lager passend sind.

⁷² Der Projektbericht findet sich in Originalgröße im Anhang

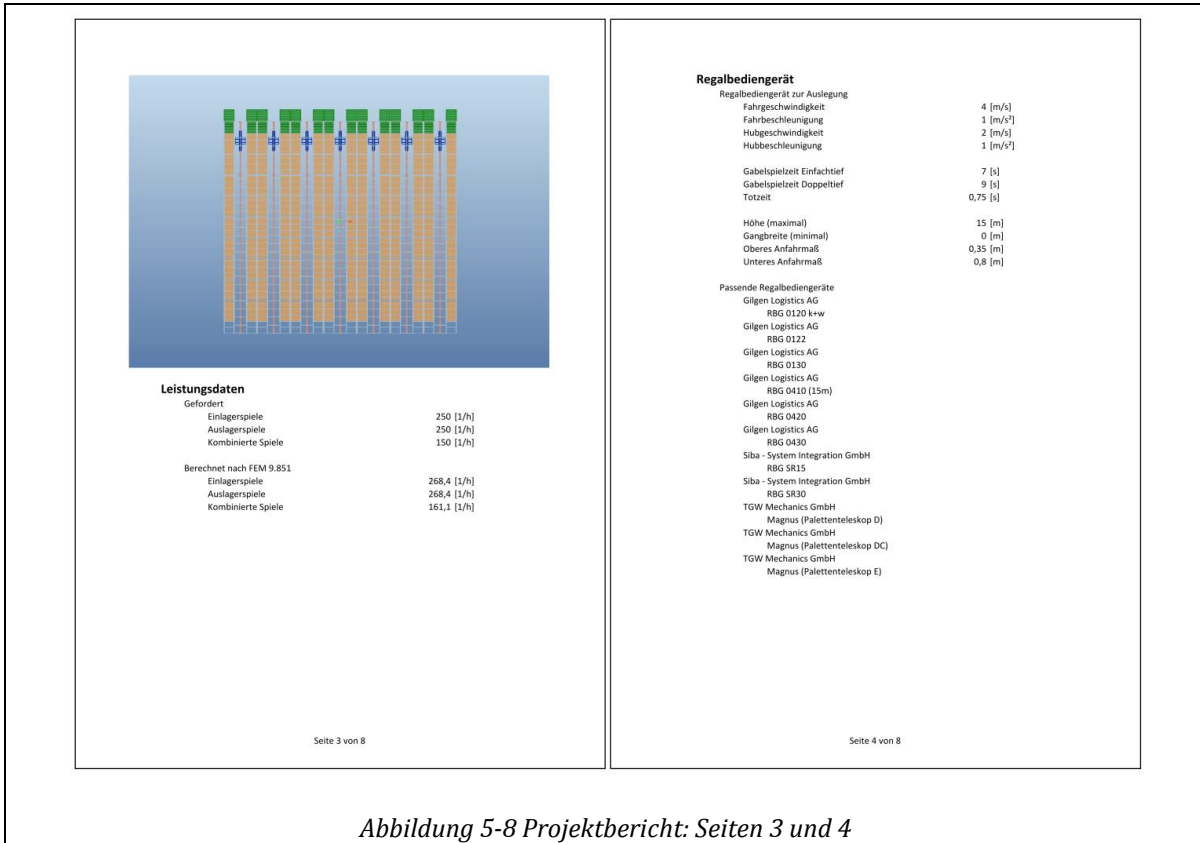


Abbildung 5-8 Projektbericht: Seiten 3 und 4

Im zweiten Teil findet sich eine Auflistung sämtlicher Eingabeparameter (siehe Abbildung 5-9 und Abbildung 5-10).

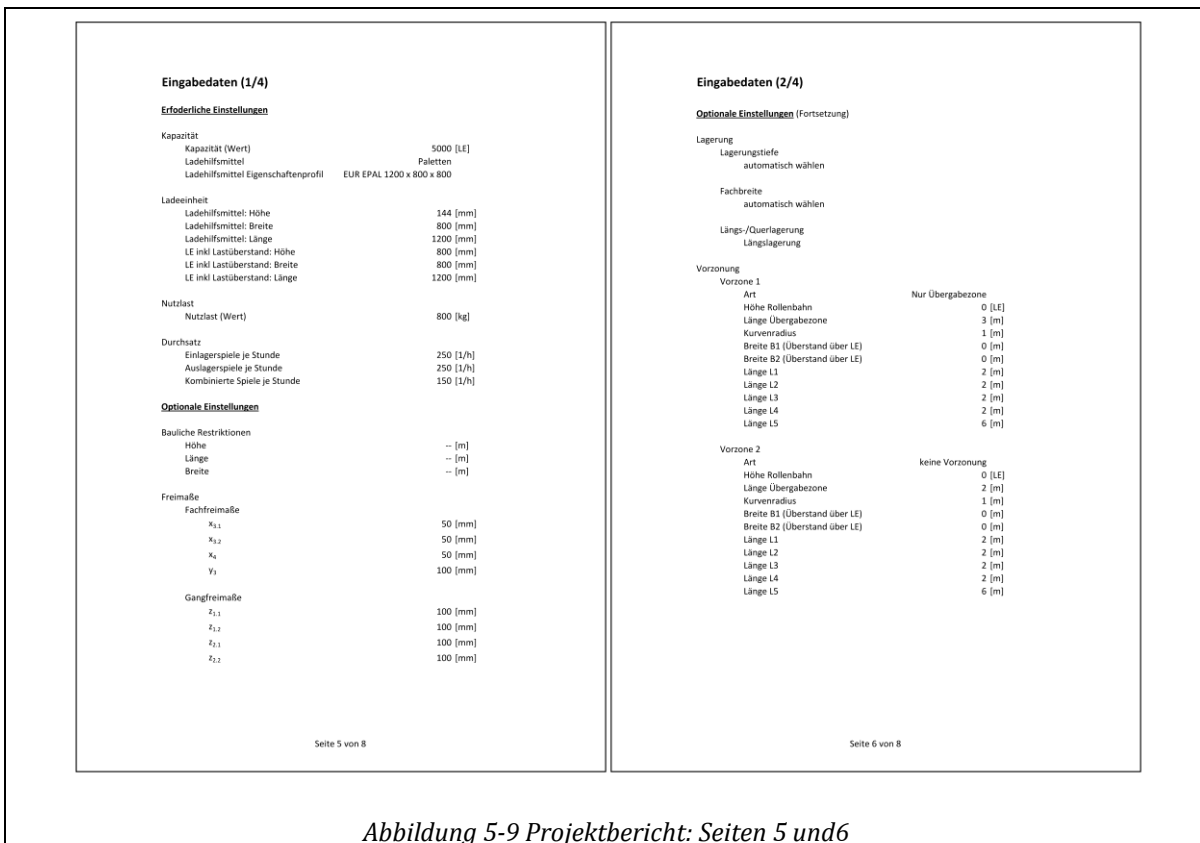
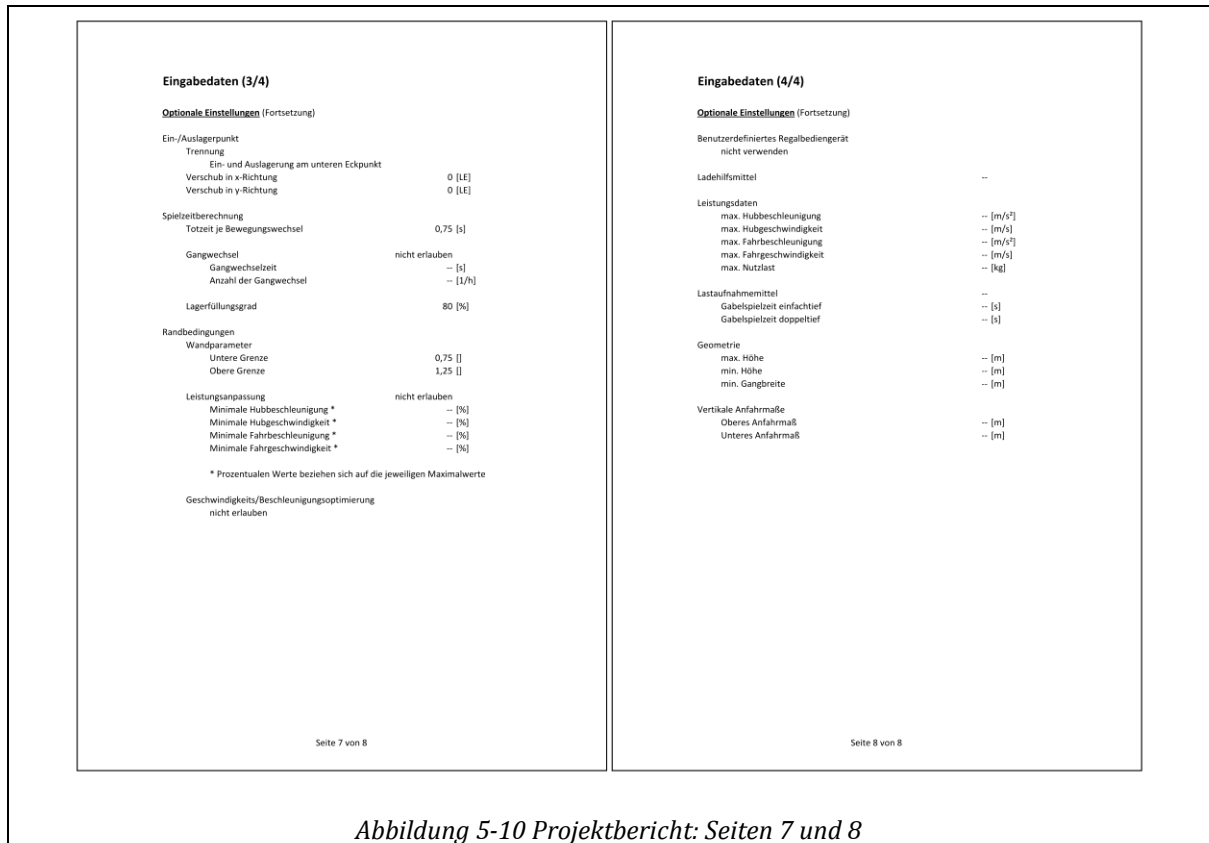


Abbildung 5-9 Projektbericht: Seiten 5 und 6



6 AUSBLICK

Diese Arbeit zeigt, dass die Anwendung von wissensbasierenden Konstruktionen im Bereich der Materialflussplanung bzw. technischen Logistik die Planungs- und Entwicklungszeit drastisch reduzieren kann. Muss man bei der Verwendung konventioneller Methoden für die Grobplanung eines Regallagers noch mehrere Stunden aufwenden, ist es mit Hilfe des HRL-Tools möglich, diese Zeit auf wenige Minuten zu verringern. Der einfache und schnelle Entwurf mehrerer Varianten und Konzepte zu einer gegebenen Problemstellung bietet verlässliche Daten schon in einem frühen Entwicklungsstadium. Dies kann bei der Abschätzung des Projektaufwands und der Projektkosten helfen.

Computergestützte, wissensbasierende Konstruktionen verringern zusätzlich die Fehleranfälligkeit des Konstruktionsprozesses. Durch die Verwendung standardisierter, auf den einschlägigen Regelwerken basierender, Berechnungsalgorithmen kann eine gleichbleibende Qualität der Entwurfsvarianten sichergestellt werden.

Die Möglichkeiten von KBE-Lösungen sind weit gefächert und nur durch Anwendungen, die Kreativität erfordern, begrenzt. Berechnungs- und Entwurfalgorithmen, die einem formalen Regelwerk entsprechen, können durch die nur geringfügig limitierte Rechnerkapazität computergestützt realisiert werden. Der Aufwand der Implementierung muss jedoch oft kritisch betrachtet und die Rentabilität für jedes Projekt erneut abgewägt werden.

Das HRL-Tool stellt eine KBE-Lösung dar, die erweiterbar ist. Zusätzliche Module und Anwendungen sind denkbar. Die dynamische Datenspeicherung ermöglicht zum Beispiel eine Erweiterung der Ladehilfsmittel um Tablare durch die Definition einer zusätzlichen Geometrie und durch die Abänderung der entsprechenden Modellelemente.

Auch tiefgreifende Anpassungen, die eine detaillierte Planung von Regallagern ermöglichen, wären denkbar. Eine Kombination des HRL-Tools mit einer KBE-Lösung zur Auslegung von Regalbediengeräten würde den Funktionsumfang und den Detaillierungsgrad steigern.

Hinsichtlich der Erstellung und Erweiterbarkeit ergibt sich für den Autor vor allem ein grundlegender Ansatz bei der Implementierung von KBE-Lösungen: Die restriktive Trennung der Knowledge-Base, Wissensbeziehungen und der Interpretation durch die Programmlogik, wodurch das gespeicherte Wissen hochgradig persistent wird. Bei einer technologischen Änderung müssen nur die erstellten Wissensbeziehungen und die erfassten Daten geändert werden, die bestehende Systemlösung bleibt jedoch in vollem Umfang funktionsfähig.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1 Grundlegende Funktionsweise eines KBS.....	2
Abbildung 2-2 Systematisierung der Lager für Stückgut.....	4
Abbildung 2-3 Lagerprozess	5
Abbildung 2-4 Prinzipdarstellung eines Hochregallagers (Jungheinrich Austria)	5
Abbildung 2-5 Prinzipdarstellung eines automatischen Kleinteilelagers (Jungheinrich Austria).....	6
Abbildung 2-6 Fachmodul eines Fachregallagers	7
Abbildung 2-7 Gangmodul eines Fachregallagers	8
Abbildung 2-8 Fachfreimaße im HRL nach FEM 9.831	9
Abbildung 2-9 Fachfreimaße im AKL (Einzelplatzlagerung) nach FEM 9.832	10
Abbildung 2-10 Fachfreimaße im AKL (Mehrplatzlagerung) nach FEM 9.832	10
Abbildung 2-11 Gangfreimaße im HRL nach FEM 9.831.....	11
Abbildung 2-12 Gangfreimaße im AKL nach FEM 9.832.....	11
Abbildung 2-13 Mögliche Anordnungen der Regalvorzone.....	12
Abbildung 2-14 Systematik der Regalförderzeuge	13
Abbildung 2-15 Prinzipieller Aufbau eines RBG.....	14
Abbildung 2-16 Paletten (oben Europalette, unten: Chemiepalette)	15
Abbildung 2-17 Behälter nach DIN 30820	16
Abbildung 2-18 Prozessdarstellung: Einzelspiel als Einlagerungsspiel	18
Abbildung 2-19 Einzelspiel als Einlagerungsspiel.....	18
Abbildung 2-20 Prozessdarstellung: Einzelspiel als Auslagerspiel.....	19
Abbildung 2-21 Einzelspiel als Auslagerspiel	19
Abbildung 2-22 Prozessdarstellung: Kombiniertes Spiel	20
Abbildung 2-23 Kombiniertes Spiel.....	21
Abbildung 2-24 Wandparameter	22
Abbildung 2-25 Hubzeit- und Fahrzeitkritische Fächer	23
Abbildung 2-26 Regalwand mit den Abmessungen H und L	24
Abbildung 2-27 Schemadarstellung zur Berechnung statischer Lagerkennzahlen	28
Abbildung 3-1 Grundlegende Funktionsweise.....	29
Abbildung 3-2 Hochregallager in modularer Betrachtung.....	31
Abbildung 3-3 Systemgrenzen des Hochregallagers.....	32
Abbildung 3-4 Ladeeinheiten	33
Abbildung 3-5 Einheitsmodell: Bauraum Fachmodul.....	34
Abbildung 3-6 Einheitsmodell: Lager Grundriss.....	35
Abbildung 3-7 Grundsätzlicher Ablauf der Lagerdimensionierung.....	36
Abbildung 3-8 Programmbestandteile und ihre Schnittstellen	37
Abbildung 4-1 Programmmodell	40
Abbildung 4-2 Programmablauf.....	41
Abbildung 4-3 Abstrahierter Auslegungsalgorithmus	42
Abbildung 4-4 Auslegungsalgorithmus.....	43
Abbildung 4-5 Abgeleitete Modelle.....	45
Abbildung 4-6 Pro/Engineer Modell: Skelett Modell	46
Abbildung 4-7 Pro/Engineer Modellaufbau (grob)	47
Abbildung 4-8 Pro/Engineer Modellaufbau eines Gangmoduls	48
Abbildung 4-9 Pro/Engineer-Modell Gangmodul.....	48
Abbildung 4-10 Dateischema des HRL-Tools.....	50
Abbildung 4-11 Aufbau des Hauptprogramms	51

Abbildung 4-12 HRL-Tool: Projektverwaltung	52
Abbildung 4-13 HRL-Tool: Erforderliche Einstellungen.....	53
Abbildung 4-14 HRL-Tool: Optionale Einstellungen – Lagerung.....	54
Abbildung 5-1 Beispielausführung: Neues Projekt erstellen.....	55
Abbildung 5-2 Beispielausführung: Parametereingabe Kapazität, Ladeinheit und Durchsatz.....	56
Abbildung 5-3 Beispielausführung: Anlegen eines neuen Ladehilfsmittelprofils	56
Abbildung 5-4 Beispielausführung: Parametereingabe Lagervorzone	57
Abbildung 5-5 Beispielausführung: Parametereingabe Ein-/Auslagerpunkt	57
Abbildung 5-6 Beispielausführung: Modifikation des Projekts.....	58
Abbildung 5-7 Projektbericht: Seiten 1 und 2	59
Abbildung 5-8 Projektbericht: Seiten 3 und 4	60
Abbildung 5-9 Projektbericht: Seiten 5 und 6.....	60
Abbildung 5-10 Projektbericht: Seiten 7 und 8.....	61

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1 Fachfreimaße im Hochregallager nach FEM 9.831	9
Tabelle 2-2 Fachfreimaße im AKL (Einzelplatzlagerung) nach FEM 9.832	10
Tabelle 4-1 RBG-Cluster für HRL	44
Tabelle 4-2 RBG-Cluster für AKL.....	44

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [Anl09] **Anlahr, Thomas, et al.:** Analyse von Gestaltungsmöglichkeiten und Ausführungen von Lagervorzonen. Dortmund : Technische Universität Dortmund, 2009.
- [AIKT02] **Arnold, Dieter, et al.:** Handbuch Logistik. 3. Berlin, Heidelberg : s.n., 2002.
- [FEM01] **Fédération Européenne de la Manutention:** FEM 9.832: Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte - Toleranzen. Verformungen und Freimaße im automatischen Kleinteilelager (keine Silobauweise). Frankfurt: Sekreteriat der FEM Sektion IX, 2001.
- [FEM02] **Fédération Européenne de la Manutention:** FEM 9.851: Leistungsnachweis für Regalbediengeräte. Frankfurt : Sekreteriat der FEM Sektion IX, 2002.
- [FEM95] **Fédération Européenne de la Manutention:** FEM 9.831: Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte - Toleranzen. Verformungen und Freimaße im Hochregallager. Frankfurt: Sekreteriat der FEM Sektion IX, 1995.
- [GUD10] **Gudehus, Timm:** Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen, 4. Auflage. Berlin Heidelberg : Springer, 2010.
- [Jod12] **Jodin, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk:** Materialflusstechnik (Skriptum zur Vorlesung). Graz : Institut für Technische Logistik - TU Graz, 2012.
- [Jun11] **Jungheinrich AG:** Regalsysteme und Lagereinrichtungen. URL http://www.jungheinrich.at/fileadmin/public/com/files/Regale/Regalgesamt_Broschuere.pdf - Abrufdatum 15. 11 2011.
- [Lan10] **Landschützer, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian und Wolfschluckner, Dipl.-Ing. Andreas:** 3D-CAD Maschinenkonstruktion (Skriptum zur Vorlesung). Graz : Institut für Technische Logistik - TU Graz, 2010.
- [Lov00] **Lovett, P.J., Ingram, A. und Bancroft, C.N.:** Knowledge-based engineering for SMEs. Journal of Materials Processing Technology. 2000.
- [MIL08] **Milton, Nick R.:** Knowledge Technologies. Mailand : Polimetrica, 2008
- [SSI10] **SSI Schäfer GesmbH:** Hauptkatalog (Printversion). Wels : SSI Schäfer GES.M.B.H, 2010.
- [HVB07] **ten Hompel, Michael, et al.:** Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik. 3. Heidelberg : Springer, 2007.
- [HVB10] **ten Hompel, Michael und Schmidt, Thorsten:** Warehouse Management. 4., neu bearbeitete Auflage. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2010.
- [HVB11] **ten Hompel, Michael, Sadowsky, Volker und Beck, Maria:** Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011.
- [VDI06] **Verein Deutscher Ingenieure e.V.:** VDI 3630: Automatische Kleinteilelager (AKL). Düsseldorf : Beuth, 2006.
- [VDI96] **Verein Deutscher Ingenieure e.V.:** VDI 2361: Regalbediengeräte (regalabhängig). Düsseldorf : Beuth, 1993.

10 GLOSSAR

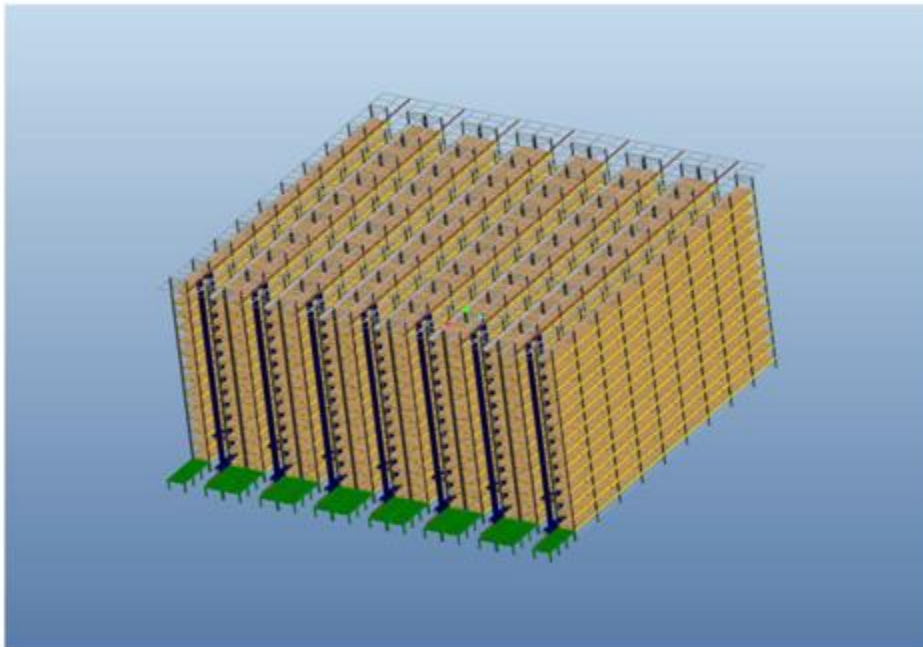
AKL	Automatisches Kleinteilelager
FIFO	First In, First Out
FM	Fachmodul
GM	Gangmodul
HRL	Hochregallager
KB	Knowledge Base (Wissensbasis)
KBE	Knowledge-based Engineering
KBS	Knowledge-based Systems
LE	Ladeinheit
LG	Lagergerät
LIFO	Last In, First Out
RBG	Regalbediengerät

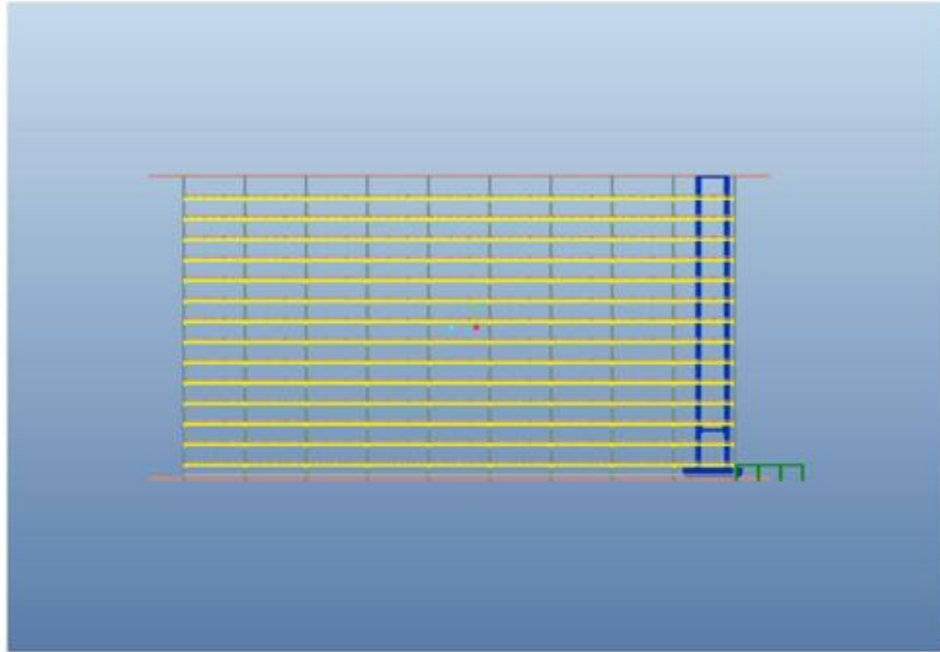
11 ANHANG



Projektbericht

Hochregallager Beispielausführung





Lagerabmessungen

Gesamtabmessungen

Länge (x-Richtung)	29,6 [m]
Breite (z-Richtung)	27,4 [m]
Höhe (y-Richtung)	14,95 [m]

Regalabmessungen

Länge (x-Richtung)	26,6 [m]
Breite (z-Richtung)	27,4 [m]
Höhe (y-Richtung)	14,95 [m]

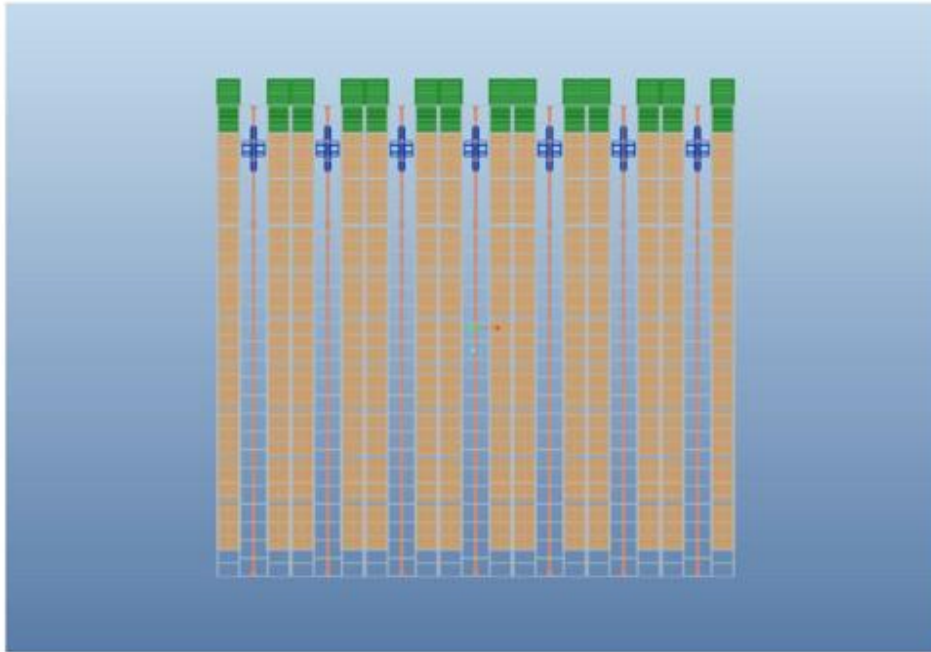
Länge (x-Richtung)	27 [LE]
Länge (x-Richtung)	9 [Fächer]
Ladeeinheiten je Fach	3 [LE/Fach]

Breite (z-Richtung)	14 [LE]
Breite (z-Richtung)	7 [Gassen]
Lagertiefe	1

Höhe (y-Richtung)	14 [LE]
-------------------	---------

Analysedaten

Kapazität	5292 [LE]
Wandparameter	1,12 []
Flächennutzungsgrad	0,5 [%]
Raumnutzungsgrad	0,56 [%]



Leistungsdaten

Gefordert

Einlagerspiele	250 [1/h]
Auslagerspiele	250 [1/h]
Kombinierte Spiele	150 [1/h]

Berechnet nach FEM 9.851

Einlagerspiele	268,4 [1/h]
Auslagerspiele	268,4 [1/h]
Kombinierte Spiele	161,1 [1/h]

Regalbediengerät

Regalbediengerät zur Auslegung

Fahrgeschwindigkeit	4 [m/s]
Fahrbeschleunigung	1 [m/s ²]
Hubgeschwindigkeit	2 [m/s]
Hubbeschleunigung	1 [m/s ²]

Gabelspielzeit Einfachtief	7 [s]
Gabelspielzeit Doppeltief	9 [s]
Totzeit	0,75 [s]

Höhe (maximal)	15 [m]
Gangbreite (minimal)	0 [m]
Oberes Anfahrmaß	0,35 [m]
Unteres Anfahrmaß	0,8 [m]

Passende Regalbediengeräte

Gilgen Logistics AG	RBG 0120 k+w
Gilgen Logistics AG	RBG 0122
Gilgen Logistics AG	RBG 0130
Gilgen Logistics AG	RBG 0410 (15m)
Gilgen Logistics AG	RBG 0420
Gilgen Logistics AG	RBG 0430
Siba - System Integration GmbH	RBG SR15
Siba - System Integration GmbH	RBG SR30
TGW Mechanics GmbH	Magnus (Palettenteleskop D)
TGW Mechanics GmbH	Magnus (Palettenteleskop DC)
TGW Mechanics GmbH	Magnus (Palettenteleskop E)

Eingabedaten (1/4)

Erforderliche Einstellungen

Kapazität

Kapazität (Wert)	5000 [LE]
Ladehilfsmittel	Paletten
Ladehilfsmittel Eigenschaftenprofil	EUR EPAL 1200 x 800 x 800

Ladeeinheit

Ladehilfsmittel: Höhe	144 [mm]
Ladehilfsmittel: Breite	800 [mm]
Ladehilfsmittel: Länge	1200 [mm]
LE inkl Lastüberstand: Höhe	800 [mm]
LE inkl Lastüberstand: Breite	800 [mm]
LE inkl Lastüberstand: Länge	1200 [mm]

Nutzlast

Nutzlast (Wert)	800 [kg]
-----------------	----------

Durchsatz

Einlagerspiele je Stunde	250 [1/h]
Auslagerspiele je Stunde	250 [1/h]
Kombinierte Spiele je Stunde	150 [1/h]

Optionale Einstellungen

Bauliche Restriktionen

Höhe	-- [m]
Länge	-- [m]
Breite	-- [m]

Freimaße

Fachfreimaße

x _{3,1}	50 [mm]
x _{3,2}	50 [mm]
x ₄	50 [mm]
y ₃	100 [mm]

Gangfreimaße

z _{1,1}	100 [mm]
z _{1,2}	100 [mm]
z _{2,1}	100 [mm]
z _{2,2}	100 [mm]

Eingabedaten (2/4)

Optionale Einstellungen (Fortsetzung)

Lagerung

Lagerungstiefe
automatisch wählen

Fachbreite
automatisch wählen

Längs-/Querlagerung
Längslagerung

Vorzonung

Vorzone 1

Art	Nur Übergabezone
Höhe Rollenbahn	0 [LE]
Länge Übergabezone	3 [m]
Kurvenradius	1 [m]
Breite B1 (Überstand über LE)	0 [m]
Breite B2 (Überstand über LE)	0 [m]
Länge L1	2 [m]
Länge L2	2 [m]
Länge L3	2 [m]
Länge L4	2 [m]
Länge L5	6 [m]

Vorzone 2

Art	keine Vorzonung
Höhe Rollenbahn	0 [LE]
Länge Übergabezone	2 [m]
Kurvenradius	1 [m]
Breite B1 (Überstand über LE)	0 [m]
Breite B2 (Überstand über LE)	0 [m]
Länge L1	2 [m]
Länge L2	2 [m]
Länge L3	2 [m]
Länge L4	2 [m]
Länge L5	6 [m]

Eingabedaten (3/4)

Optionale Einstellungen (Fortsetzung)

Ein-/Auslagerpunkt

Trennung

Ein- und Auslagerung am unteren Eckpunkt

Verschub in x-Richtung 0 [LE]

Verschub in y-Richtung 0 [LE]

Spielzeitberechnung

Totzeit je Bewegungswechsel 0,75 [s]

Gangwechsel

nicht erlauben

Gangwechselzeit -- [s]

Anzahl der Gangwechsel -- [1/h]

Lagerfüllungsgrad

80 [%]

Randbedingungen

Wandparameter

Untere Grenze 0,75 []

Obere Grenze 1,25 []

Leistungsanpassung

nicht erlauben

Minimale Hubbeschleunigung * -- [%]

Minimale Hubgeschwindigkeit * -- [%]

Minimale Fahrbeschleunigung * -- [%]

Minimale Fahrgeschwindigkeit * -- [%]

* Prozentuale Werte beziehen sich auf die jeweiligen Maximalwerte

Geschwindigkeits/Beschleunigungsoptimierung

nicht erlauben

Eingabedaten (4/4)

Optionale Einstellungen (Fortsetzung)

Benutzerdefiniertes Regalbediengerät
nicht verwenden

Ladehilfsmittel --

Leistungsdaten

max. Hubbeschleunigung -- [m/s²]
max. Hubgeschwindigkeit -- [m/s]
max. Fahrbeschleunigung -- [m/s²]
max. Fahrgeschwindigkeit -- [m/s]
max. Nutzlast -- [kg]

Lastaufnahmemittel --

Gabelspielzeit einfachtief -- [s]
Gabelspielzeit doppeltief -- [s]

Geometrie

max. Höhe -- [m]
min. Höhe -- [m]
min. Gangbreite -- [m]

Vertikale Anfahrmaße

Oberes Anfahrmaß -- [m]
Unteres Anfahrmaß -- [m]