

# Hochregallager

Simulation und Optimierung

Berner Fachhochschule - Technik und Informatik

Marc Schärer [scham36@bfh.ch](mailto:scham36@bfh.ch)  
Arthur van Ommen [vanoa1@bfh.ch](mailto:vanoa1@bfh.ch)  
Fabian Affolter [affof1@bfh.ch](mailto:affof1@bfh.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Rahmenbedingungen . . . . .	1
1.2	Abgrenzung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>1</b>
2.1	Allgemeine Grundlagen . . . . .	2
2.1.1	Koordinaten . . . . .	2
2.1.2	Klappung . . . . .	3
2.2	Mathematische Grundlagen . . . . .	4
2.3	Simulationstechnische Grundlagen . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Modellierung</b>	<b>5</b>
3.1	Einheiten . . . . .	5
3.2	Hochregal . . . . .	5
3.3	Regalbediengerät . . . . .	5
3.4	Ereignisse . . . . .	5
3.5	Zustände . . . . .	7
3.5.1	Global . . . . .	7
3.5.2	Gassen . . . . .	7
3.6	Bewegungen . . . . .	8
3.7	Steuer-Daten . . . . .	8
3.8	Architektur . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Simulation</b>	<b>8</b>
4.1	Strategien . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Visualisierung</b>	<b>9</b>
5.1	Trennung . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Resultate</b>	<b>9</b>
<b>A</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>B</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>C</b>	<b>Projekt-Beteiligte</b>	<b>13</b>
<b>D</b>	<b>Anforderungs-Dokumentation</b>	<b>14</b>
<b>E</b>	<b>Sonstiges</b>	<b>15</b>

## **Zusammenfassung**

Das Hochregallager ist ein Lagerungssystem, welche sich mit einer hohen Lagerdichte und Wirtschaftlichkeit von anderen Konzepten abhebt...

# 1 Einleitung

Ein Hochregallager (HRL) beschreibt ein Lagersystem mit Plätzen in sogenannten Regalen. Hochregallager gibt es in den unterschiedlichsten Ausprägungen. Die grössten Ausführungen besitzen Höhen bis etwa 50 m und können mehreren hunderttausend Plätze besitzen. Oftmals werden direkt Euro-Paletten als Träger für das Lagergut verwendet, ist das Lagergut zu klein, werden häufig spezielle Kunststoff-Behälter benutzt.

Grobgesagt besteht ein Hochregallager aus einer bestimmten Anzahl von Gassen. Eine Gasse wiederum hat links und rechts Lagerplätze und im Freiraum bewegt sich ein Bediengerät. In einem manuellen Hochregallager ist dieser Raum so gross, dass mit einem Gabelstapler zwischen den Regalwänden manövriert werden kann. Bei automatischen Lagern fährt ein Bediengerät, welches von einem Lagerverwaltungssystem seine Befehle bekommt, ohne manuelle Interventionen in der Gasse und liefert das Lagergut zur Entnahmestelle.

Die Hochregallager haben eine hohe Raumnutzung und bei der Erstellung sind hohe Investitionen nötig, da bei kleineren Ausführungen eine Halle um das Hochregallager gebaut werden muss. Bei grossen Varianten wird das Hochregal als Tragstruktur für das Gebäude mitbenutzt.

## 1.1 Rahmenbedingungen

## 1.2 Abgrenzung

Die Schnittstelle liegt an der Stirnseite des Hochregallagers zur Vorzone.

# 2 Grundlagen

Im Sinne eines Hochregallagers besteht eine Gasse aus einer rechten und einer linken Regalwand während sich in der Mitte der beiden Wände ein Korridor für das Regalbediengerät befindet. Die Regalwände sind in Lagerplätze unterteilt, die von Regalbediengerät be- und entladen werden. Hochregallager können aus einer beliebigen Anzahl Gassen bestehen. Im Normalfall befindet sich an einer Stirnseite der Gassen die sogenannte Vorzone, welche die Aufgabe hat, die Lagergüter auf die zugewiesenen Gassen zu verteilen.



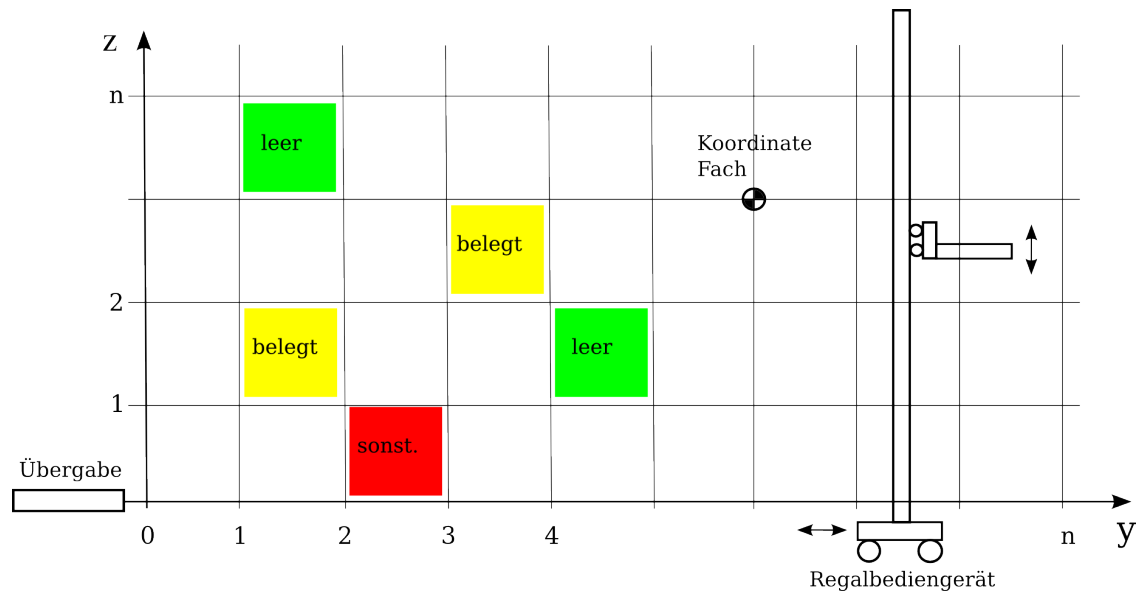


Abbildung 2: Lagerwand

Tabelle 2: Farbzuzuordnung Lagerplätze

grün	leer
gelb	belegt
rot	reserviert/defekt/spezial

### 2.1.2 Klappung

Für die zweidimensionale Darstellung wurde eine Lagergasse gemäss Abbildung 3 aufgefaltet, respektive aufgeklappt.

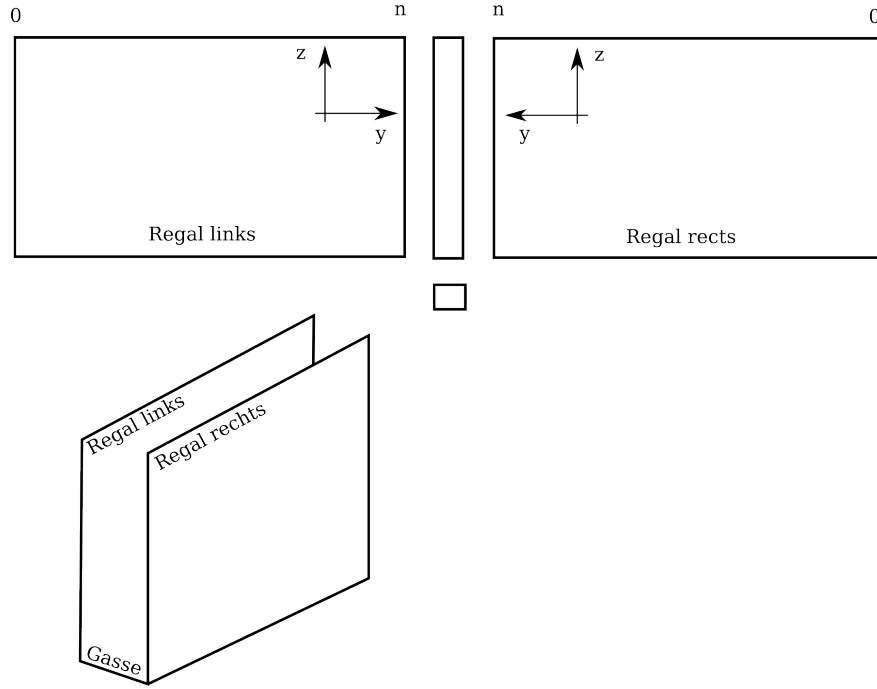


Abbildung 3: Klappung

## 2.2 Mathematische Grundlagen

Regalbediengerät bewegt sich zwischen den Lagerwänden auf der y- und der z-Achse. Der Arm des Regalbediengerät verfährt auf der y-Achse und der Ausleger auf der z-Achse. Die Bewegungen auf beiden Achsen lassen somit beliebige Verfahrenswege auf der yz-Ebene zu. Die Grundgleichung für die Geschwindigkeit in der Ebene lautet:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Die Fahrt des Regalbediengerät besteht aus einer Phase für die Beschleunigung, einer Phase der gleichförmigen Bewegung mit möglichst maximaler Geschwindigkeit und einem Bremsabschnitt, resp. einer Verzögerungsphase, am Ende. Die kürzeste Fahrzeit ergibt sich auch mehreren Faktoren. Die Synchronisationsgerade ist ein in diesem Zusammenhang oft verwendeter Begriff, welcher die optimale Fahrbahn des Regalbediengerät beschreibt. Dieser Fahrbahn führt jedoch nicht zur optimalen Fahrzeit, da unter Umständen beide Achsen gebremst werden müssten. Wir haben aber den Ansatz gewählt, dass, wenn möglich, nur auf der schnelleren Achse die Geschwindigkeit reduziert wird, was dazu führt, dass sich die zweite Achse entsprechend ihrem Maximum fortbewegen kann. Ein Grenzfall tritt auf, wenn die zu bewältigende Strecke kleiner wird als die Summe der Wege von der Beschleunigung und Verzögerung bei konstanten Beschleunigungen/Verzögerungen und Geschwindigkeiten.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot s \cdot a \cdot d}{(a + d)}} \quad (2)$$

## 2.3 Simulationstechnische Grundlagen

# 3 Modellierung

## 3.1 Einheiten

Die Basiseinheit ist Milimeter. Es ist jedoch möglich mit anderen SI-Einheiten (m, dm oder cm) zu arbeiten.

## 3.2 Hochregal

Das gesamte Hochregallager wird durch ein einzelnes Objekt dargestellt. Dieses Objekt enthält alle benötigten Informationen. Das heißt, dass auf die Gassen, das Regal und die Lagerfächer direkt zugegriffen werden kann. Dies bietet eine komfortable Arbeit.

## 3.3 Regalbediengerät

Innerhalb der Gasse bewegt sich nur das Regalbediengerät. Die Klasse RackFeeder bildet dies ab. In Abschnitt wurde auf die zulässigen Bewegungen eingegangen. Die maximalen Beschleunigungen, Verzögerungen und die Geschwindigkeit sind innerhalb dieser Klasse als Standardwerte definiert. Bei Bedarf lassen sie sich jedoch überschreiben.

## 3.4 Ereignisse

Innerhalb des Systems wurden die Ereignisse (Events) in die Operationen Einlagern, Umlagern und Auslagern zerlegt. Die Verzweigungen sind in den nachfolgenden Abbildungen in gelb dargestellt. Der Startpunkt ist blau. Im Verhalten Einlagern

1.1 RBG auf 0/0 leer 2 RBG auf 0/0 beladen 3 RBG auf Y/Z beladen 4 RBG auf X beladen 5 RBG auf X leer 6 RBG auf Y/Z leer 1.2 RBG auf 0/0 leer

Im Verhalten Auslagern

1.1 RBG auf 0/0 leer 6 RBG auf Y/Z leer 5 RBG auf X leer 4 RBG auf X beladen 3 RBG auf Y/Z beladen 2 RBG auf 0/0 beladen 1.2 RBG auf 0/0 leer

Nachfolgendes Entladen

7 RBG auf Y1/Z1 leer -> dann in normalen Entlade-Zyklus

Im Verhalten Umlagern

6 RBG auf Y/Z leer 5 RBG auf X leer 4 RBG auf X beladen 3 RBG auf Y/Z beladen 8 RBG neues Lagerfach !! 3 RBG auf Y/Z beladen 4 RBG auf X beladen 5 RBG auf X leer 6 RBG auf Y/Z leer -> 7 oder 1

Änderungen 7 und 8



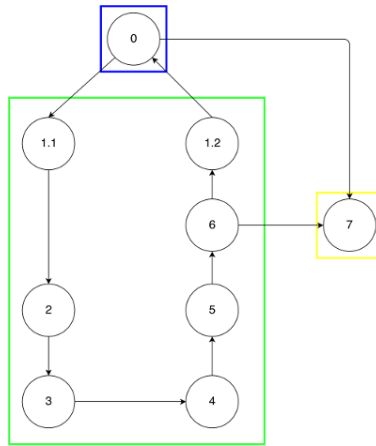


Abbildung 4: Einlagern

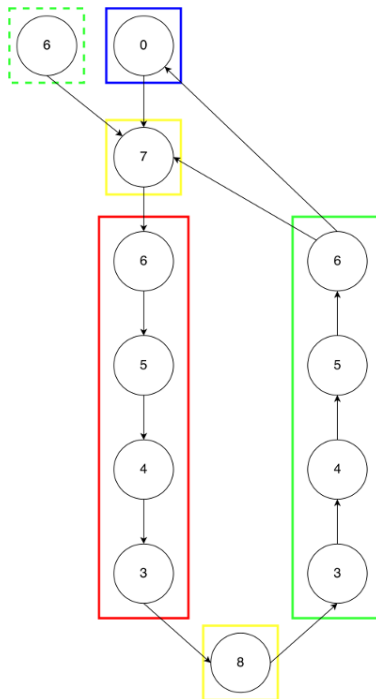


Abbildung 5: Umlagern

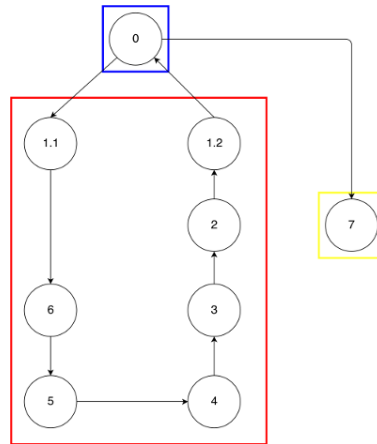


Abbildung 6: Auslagern

### 3.5 Zustände

#### 3.5.1 Global

1. Get next free Gap
2. Select Gap (first to be free?)
3. .1 Assign Item to Bin
4. .2 Send Item to Gap
5. .3 Set RBG to 0.0
6. Load Item to RBG
7. Store Item in Bin

#### 3.5.2 Gassen

Tabelle 3: Einlagerung

Eventnr.	Koord.	Zustand
1	0/0	empty
2	0/0	loaded
3	y/z	loaded
4	x	loaded
5	x	empty
6	y/z	empty
1	0/0	empty
7		sleep

### RBG Einlagern

Tabelle 4: Auslagerung

Eventnr.	Koord.	Zustand
1	0/0	empty
6	y/z	empty
5	x	empty
4	x	loaded
3	y/z	loaded
2	0/0	loaded
1	0/0	empty
7		sleep

## RBG Auslagern

### 3.6 Bewegungen

### 3.7 Steuer-Daten

### 3.8 Architektur

Die Unterteilung der Anwendung erfolgte in einen Teil für die Modellierung, Simulation und die Visualisierung.

## 4 Simulation

Für die Simulation gibt es unterschiedliche Strategien, welche das Verhalten des Lagers beeinflussen. Neben den Teilen für das Hochregallager selber, gibt es auch Punkte, die nur das Regalbediengerät berücksichtigen.

### 4.1 Strategien

- Bewegungsstrategien
  - Einlagerung
  - Auslagerung
  - kombiniert
- Ruhepositionsstrategien
  - Verweilen am letzten Arbeitspunkt
  - Rückkehr zur Übergabestelle
  - Freie Position in der Regalgasse
- Einlagerungsstrategien
  - zufällige Einlagerung
  - Einlagerung nahe der Auslagerung

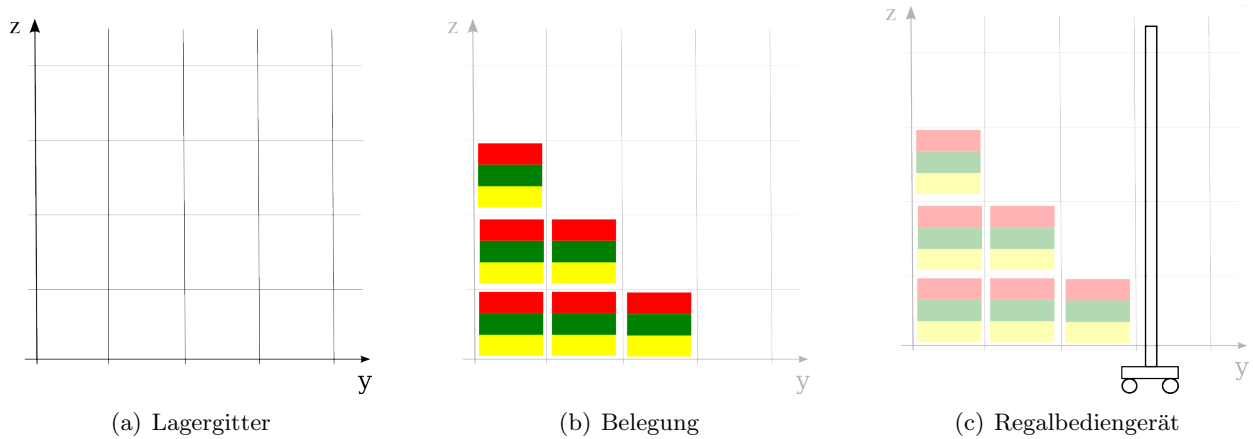


Abbildung 7: Trennungen

- chaotische Einlagerung
- zonierte Einlagerung
- Auslagerungsstrategien
  - strenges FIFO
  - abgeschächtes FIFO
- Umlagerungsstrategien
  - keine Umlagerungen
  - zufällige Umlagerungen
  - zonierte Umlagerung
- Reihenfolgestrategien
  - First come, first serve
  - Fahrweg- und Zeit-Optimierung
  - lokale Queue-Optimierung
  - globale Optimierung
- Nichtbeschäftigungsstrategien

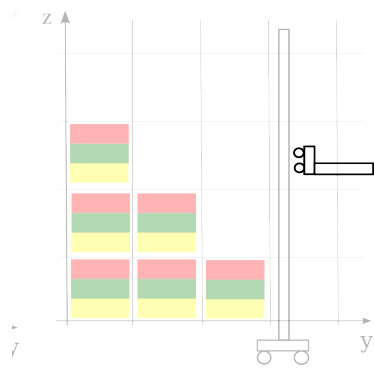
## 5 Visualisierung

Auf Grund der hohen Dichte von möglichen Visualisierungselementen wird das Hochregallager aufgeklappt und vereinfacht dargestellt.

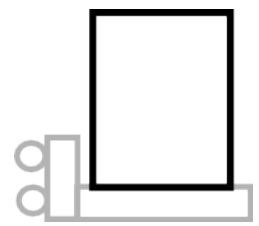
### 5.1 Trennung

Der Lagerwand und den involvierten Akteure wurde je eine Ebene (Layer) zugewiesen. Dies stellt sicher, dass bei der Darstellung nur die Elemente, welche sich seit dem letzten Schritt verändert haben, neugeladen werden müssten.

## 6 Resultate



(a) Regalbediengerät-Ausleger



(b) Lagergut

Abbildung 8: Weitere Trennungen

## A Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht . . . . .	2
2	Lagerwand . . . . .	3
3	Klappung . . . . .	4
4	Einlagern . . . . .	6
5	Umlagern . . . . .	6
6	Auslagern . . . . .	7
7	Trennungen . . . . .	9
8	Weitere Trennungen . . . . .	10

## B Abkürzungsverzeichnis



## C Projekt-Beteiligte

### Verfasser

Marc Schärer `scha36@bfh.ch`

Arthur van Ommen `vanoa1@bfh.ch`

Fabian Affolter `affof1@bfh.ch`

### Betreuer

Berner Fachhochschule  
Technik und Informatik  
Wankdorffeldstrasse 102  
3014 Bern

Jürgen Eckerle

`erj1@bfh.ch`



## D Anforderungs-Dokumentation

## **E Sonstiges**

### **Differenzierung zwischen Mann und Frau**

Für eine bessere Lesbarkeit bei allgemeinen Aussagen wird nur die männliche Form des Substantivs verwendet. Die Leserinnen bitten die Autoren um Verständnis für diese Vereinfachung.

### **Markennamen und Warenzeichen**

Alle Markennamen, Warenzeichen und eingetragenen Warenzeichen, die in diesem Dokument verwendet werden, sind Eigentum ihrer rechtmäßigen Eigentümer. Sie dienen hier nur der Beschreibung beziehungsweise der Identifikation der jeweiligen Firmen, Produkte und Dienstleistungen.