



ERNST ABBE HOCHSCHULE JENA

ABSCHLUSSPROJEKT
ECHTZEITBETRIEBSSYSTEME

Hochregallager

*Michael Thomas, Andreas Glatz,
Simon Weitzel, Felix Baral -Weber*

betreut durch
Herr Prof. Dr.-Ing. Oliver JACK

11. Juli 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Modulbeschreibung	3
1.2	Einstieg in die Projektphase	3
2	Allgemeine Beschreibung	4
2.1	Aufgabenstellung und Umsetzungsansatz	4
2.2	Entwicklungsumgebung und Programmierung	6
3	Spezifische Anforderungen	7
3.1	Strukturierte Analyse	7
3.1.1	Kontextdiagramm	7
3.1.2	DFD1 Simulation	8
3.1.3	DFD1 Steuerung	10
4	Tests	12
4.1	Zeitliche Analyse	12
4.1.1	Test Simulation mit System Viewer	12
4.1.2	Test Hochregal-Steuerung mit System Viewer	12
4.2	Systemtests	13
4.2.1	Jobannahmetest	13
4.2.2	Vollständigkeit / Korrektheit	13
4.2.3	Test außerhalb der Spezifikationen	14

1 Einführung

1.1 Modulbeschreibung

Dieses Dokument beschreibt die Anforderungen und Implementierungsdetails an eine Echtzeitsystemanwendung, welche das Abschlussprojekt des Moduls Echtzeitbetriebssysteme der EAH Jena darstellt. Dieses Dokument richtet sich dabei nach den Vorgaben für die Software Requirements Specification (SRS) nach dem [IEEE Standard 830-1998](#). Der Modulverantwortliche ist Prof Dr. Oliver Jack aus dem Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik.

1.2 Einstieg in die Projektphase

Die Arbeit an der Programmumsetzung wurde in die Teilbereiche Hochregal-Steuerung, Simulation, Integritätsprüfung, Benutzereingabe und Visualisierung aufgeteilt, um diese Bereiche allein bzw. in Gruppen parallel abarbeiten zu können.

Dabei ergab sich folgende Aufteilung:

- Hochregal-Steuerung → Michael Thomas, Simon Weitzel
- Simulation → Felix Baral-Weber, Andreas Glatz
- Integritätsprüfung und Benutzereingabe → Simon Weitzel, Michael Thomas
- Visualisierung → Andreas Glatz, Felix Baral-Weber

Desweiteren wurden Hauptverantwortliche für alle Teilbereiche des Projektes festgelegt:

- Michael Thomas: Programmumsetzung
- Andreas Glatz: Tests
- Simon Weitzel: Strukturierte Analyse
- Felix Baral-Weber: Latex-Template und Funktionale Anforderung

2 Allgemeine Beschreibung

2.1 Aufgabenstellung und Umsetzungsansatz

Die Aufgabestellung des Semesterprojektes ist es eine Hochregallagersimulation unter zuhelfenahme eines Echtzeitbetriebssystems zu erstellen. Diese soll das gesamte System mit einer statisch gewählten Regaldimension sowohl steuern, als auch simulieren. Das Simulationmodell umfasst ein Regallagersystem mit 5×10 Regalfächern, einen Ein- und Ausgabeslot und einen Turm zum be- und entladen der Fächer. Dieser Turm ist auf einer Achse montiert, auf welcher er sich in X-Richtung bewegen kann, desweiteren kann der Ausleger am Turm in Y-Richtung herauf und herab bewegen. An dem Ausleger ist wiederum ein Schlitten befestigt, welcher in Z-Richtung, zum Hochregal hin, und raus, zu den Ein-/Ausgabe-Slots gefahren werden kann. Die Position dazwischen wird als neutrale Position bezeichnet. Sämtliche Bewegungen des Turms werden von Tastern auf den Schienen ermittelt, um daraus die Position des Turmes bestimmen zu können. Auf der X-Achse und auf der Y-Achse befinden sich jeweils zehn Taster und auf der Z-Achse drei.

Um ein Klötzchen vom Eingabe-Slot, oder aus einem Regalfach aufzunehmen, wird der Schlitten am Ausleger unterhalb des Klötzchens aus der neutralen Position der Z-Achse in den Slot bzw. das Fach gefahren und dann erst angehoben. Umgekehrt wird beim Ablegen eines Klötzchens in den Ausgabe-Slot, oder in ein Regalfach das Paket von oben auf den Slot bzw. das Regalfach abgesenkt, bevor der Ausleger am Schlitten in die neutrale Position der Z-Achse zurückgefahren wird.

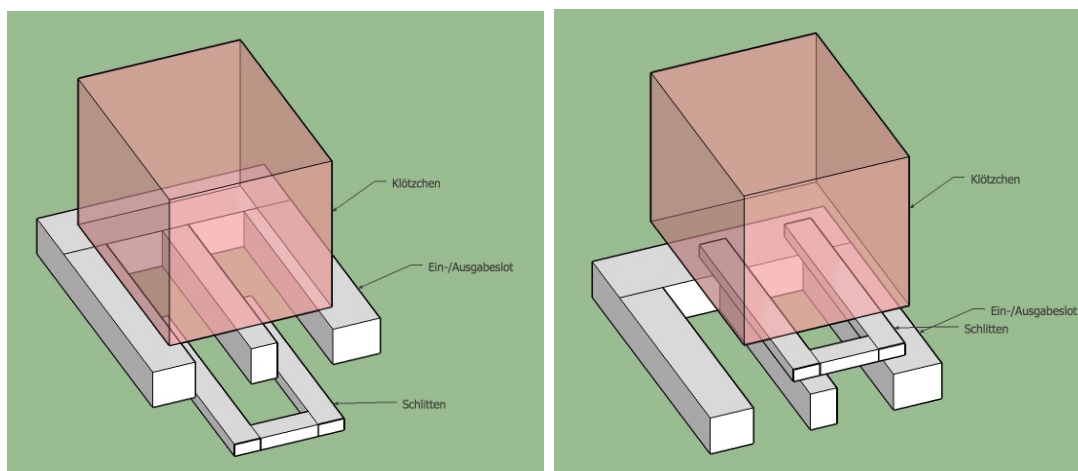


Abbildung 1: Aufnahme/Ablage an Ein-/Ausgabe-Slot

Zur Eingabe steht dem Bediener die Konsole zur Verfügung.

Folgende Befehle werden zur Verfügung gestellt:

- `vsetspace[x][y]` → Definiert einen Platz als schon belegt

- `clearspace[x][y]` → Definiert einen Platz als frei
- `insert[x][y]` → Holt ein Klötzchen vom Eingabe-Slot und legt es an gewünschter Position im Hochregallager ab
- `remove[x][y]` → Holt ein Klötzchen von der gewünschten Position ab und legt es an den Ausgabe-Slot

Sollte ein Befehl nicht möglich sein, da ein Hochregallagerplatz bereits belegt ist bzw. ein Fach aus dem ein Klötzchen geholt werden soll leer ist, wird der Anwender durch eine in der Konsole ausgegebene Fehlermeldung darauf aufmerksam gemacht und der Befehl nicht ausgeführt. Es können vor Abschluss eines Befehls weitere aufgegeben werden, welche sich in einer Warteschlange einreihen. Die Befehle „clearspace“ und „vsetspace“ werden nicht an das Ende dieser gestellt, sondern nach Abschluss des letzten bereits angefangenen Auftrages ausgeführt, da für diese keine Bewegung des Turms nötig ist. Für den Fall, das zu diesem Zeitpunkt eine weitere Operation mit dem selben Regalfach bereits in der Warteschlange ist, welche dieses Fach in einem anderen Belegungszustand benötigt, wird diese dann nicht ausgeführt und der Bediener über das Aussetzen dieses Auftrages mittels Konsolenausgabe informiert. Sobald kein weiterer Auftrag in der Warteschlange ist wird der Turm an die Position vor dem Eingabe-Slot gefahren und verweilt dort bis ein neuer Auftrag aufgegeben wird.

Die Visualisierung des Hochregallagers erfolgt ebenfalls in der Konsole, in welcher sowohl das Hochregal und dessen Belegung als auch die Position des Turms und dessen Auslegers, durch ASCII-Zeichen stilisiert dargestellt und nach jeder Änderung aktualisiert werden. Dabei liegt der Ursprung der Koordinaten und somit der Regalplatz (0,0) in der linken unteren Ecke. Die Darstellung des Ein- und Ausfahrens des Auslegers wird unterhalb dargestellt. Dabei stellt die linke Position den zum Ein-/Ausgabe-Slot gefahrenen Arm dar, die rechte Position die in das Regal hereingefahrene. Die aktuelle Position des Turm auf der X- und Y-Achse ist unterhalb bzw. links der Fächer mit einem Pfeil markiert.

```

      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4
|+--+--+--+--+--+--+--+--+
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3
|+--+--+--+--+--+--+--+--+
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2
|+--+--+--+--+--+--+--+--+
|  |  ##  |  |  |  |  |  |  | 1
|+--+--+--+--+--+--+--+--+
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | 0
=>+--+--+--+--+--+--+--+--+

=====/\=====

Z-Position:  __|_|__

Eingang:  |_|  Ausgang:  |X|

```

Abbildung 2: Ausgabevisualisierung in Konsole

2.2 Entwicklungsumgebung und Programmierung

Als Entwicklungs- und Testumgebung wurde Windriver Workbench 3.3 genutzt und die Programmiersprache C verwendet. Es wurden für das Echtzeitbetriebssystem Vxworks Libraries inkludiert und die von Prof. Dr. Jack angebotene Implementierung für die Bus-Datenstruktur (busdata.h) und die User-Befehlseingabe (readcommand.c/.h) verwendet.

3 Spezifische Anforderungen

3.1 Strukturierte Analyse

3.1.1 Kontextdiagramm

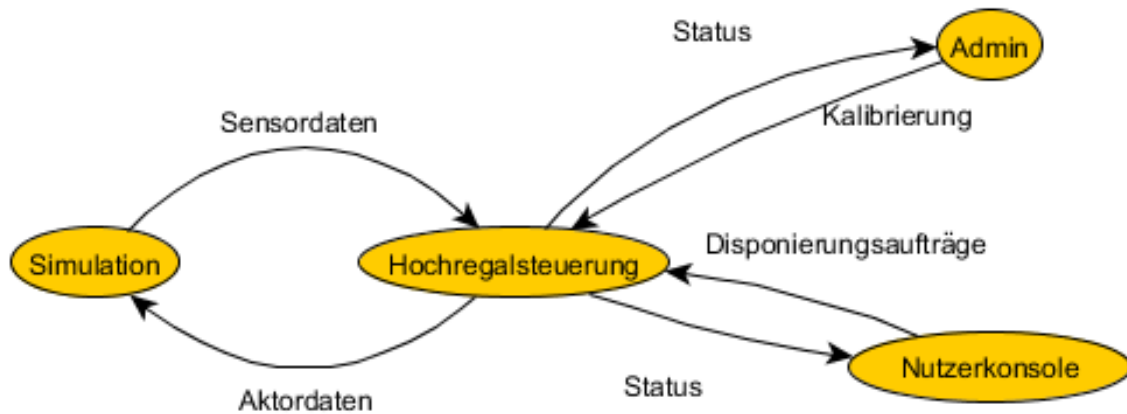


Abbildung 3: Kontextdiagramm

Aus dem Kontextdiagramm lässt sich leicht erkennen, dass das System aus zwei großen Teilen besteht. Auf der einen Seite ist die HRL-Steuerung, welche Eingaben erfasst, kontrolliert und die gewünschte Reaktion darauf berechnet. Auf der anderen Seite steht die Simulation, die für die physikalischen Abläufe nötige Zeit und das auslösen der diversen Sensoren simuliert. Verbunden sind beide durch diverse MessageQueues und eine globale Variable, welche in den weiteren Datenflussdiagrammen erleutert werden.

3.1.2 DFD1 Simulation

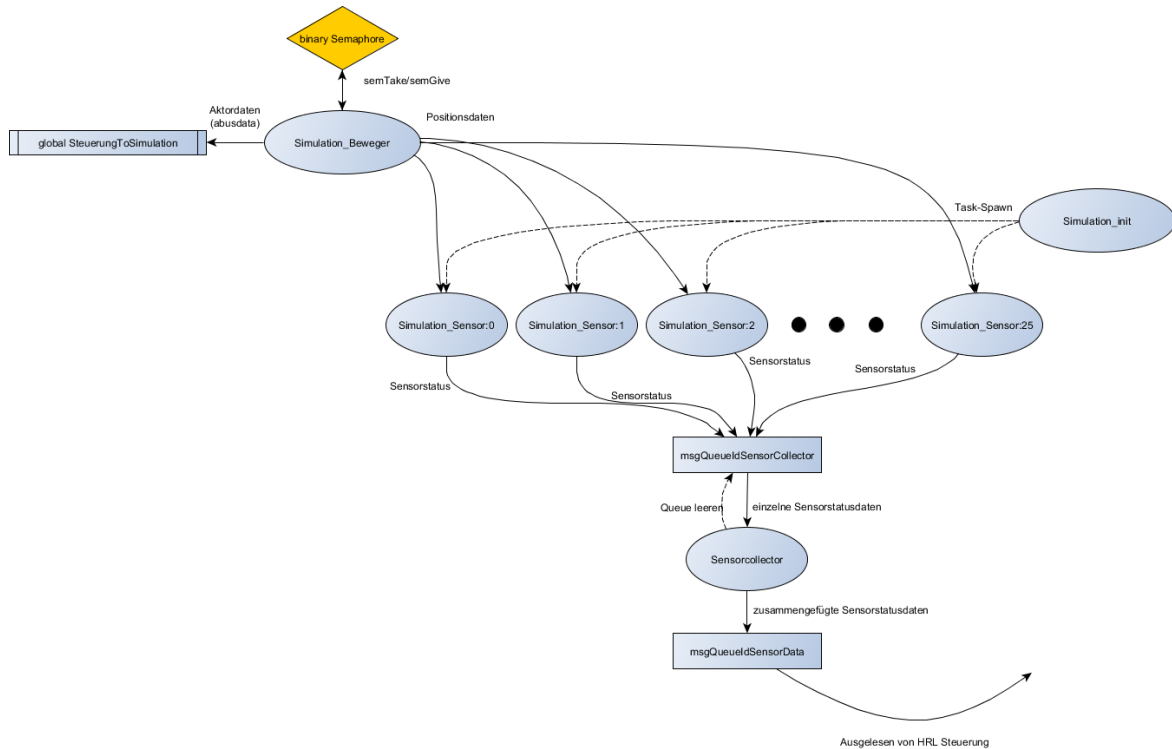


Abbildung 4: DFD1 Simulation

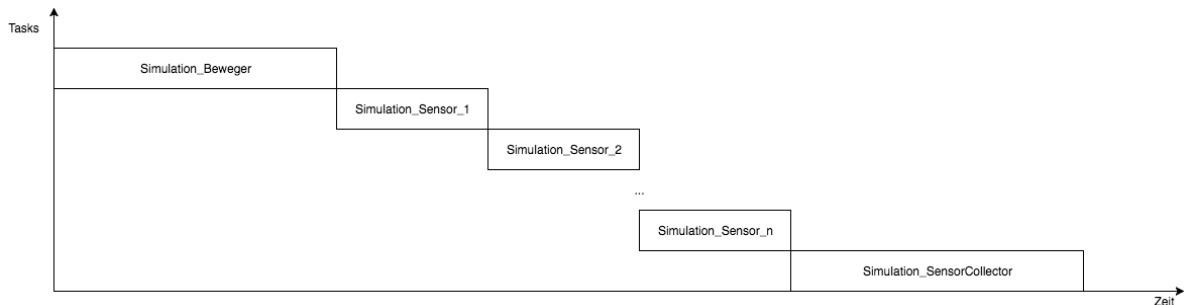


Abbildung 5: Gantt Diagramm der Task der Simulation

Alle Tasks in der Simulation haben die gleiche Priorität und ändern diese nicht. Sie werden in einer festen Reihenfolge erzeugt und laufen dann in jedem Zyklus in dieser Sequenz.

Mini-Spec Simulation Beweger:

Wie in Abb.5 zu sehen ist läuft der Beweger als erster Task eines Simulationsschrittes. Der Beweger setzt virtuelle Position(Positionsdaten) nach Aktordaten (abusdata),

welche durch einen Semaphore geschützt werden. Da die Simulation minimal blockiert werden soll implementiert die Semaphore eine Prioritätsvererbung.

Mini-Spec Simulation Sensor:

Jeder Sensor bekommt eine ID die der Bitstelle in Sensorbits entspricht. Zur Initialisierung errechnet er so seine Position (*triggeroffset*).

Mini-Spec Simulation Sensor 0-22:

Der Sensor Task berechnet das eigene *triggeroffset* und gleicht dieses mit der virtuellen Position ab.

if(virtuelle Position-X == Sensorposition-X) true und eigene ID in *msgQueueIdSensorCollector*

else false und eigene ID in *msgQueueIdSensorCollector*

analog für Y- und Z-Sensoren

Mini-Spec Simulation Sensor 23-24:

Bei Sensoren für Lichtschranken wird die Berechnung nicht über ein *triggeroffset*, sondern über Zeitkonstanten, welche hoch bzw. runter gezählt werden gesteuert.

Mini-Spec Simulation Sensor 25:

Der Lichttaster wird gesetzt wenn er eine Auflade- bzw. Abladeoperation detektiert. Diese besteht (wie in Abb. 6 zu sehen) aus unter den Ablagepunkt fahren, den Arm nach außen bzw. innen fahren und dann anheben, bzw. über den Ausgabepunkt fahren, den Arm nach außen bzw. innen fahren und danach absenken.

Setzen bzw. Entfernen eines Klötzchens aus bzw. in einen Lichttaster:

if(Z = in Regal und anschließend Y= hoch)

Auslagerungsvorgang in Regal erkannt -> Lichttaster anschließend bedeckt und Belegungsmatrix[X][Y]= nicht belegt

if(Z = in Regal und anschließend Y= runter)

Einlagerungsvorgang in Regal erkannt -> Lichttaster anschließend nicht bedeckt und Belegungsmatrix[X][Y] = belegt

if(Z = aus Regal heraus und anschließend Y= hoch)

Aufnahmevorgang in Eingabe-Slot erkannt -> Lichttaster anschließend bedeckt und Zeitkonstante von Lichtschranke in Slot wird zurückgesetzt

if(Z = aus Regal heraus und anschließend Y= runter)

Auslagerungsvorgang in Ausgabe-Slot erkannt -> Lichttaster anschließend nicht bedeckt
Zeitkonstante von Lichtschranke in Slot wird zurückgesetzt

Mini-Spec Sensorcollector:

Der Sensorcollector läuft nach allen Sensoren. Er greift die Messwerte der einzelnen Sensoren aus *msgQueueIdSensorCollector* ab (leeren der Queue) und fügt sie zu *sbusdata* zusammen und schiebt diese anschließend in *msgQueueIdSensorData*.

3.1.3 DFD1 Steuerung

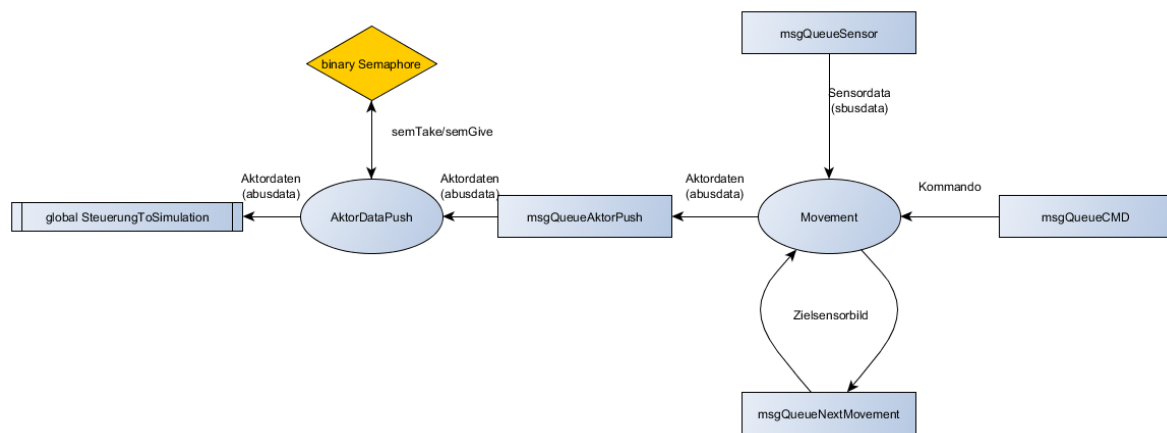


Abbildung 6: DFD1 Steuerung

Mini-Spec Movement:

Der Movement-Task fragt kontinuierlich nach einem neuem Auftrag aus der *msgQueueCMD*, ist keiner da wird ein Timeout ausgelöst und das System geht in den Pause-Modus bzw. Zusatzaufgabe über. Wenn der Auftrag bereitsteht wird die Belegung geändert (für Befehle *vsetspace* und *clearspace*) bzw. es werden die acht Teilsensorbilder generiert (Befehle *insert* und *remove*). Diese werden in die *msgQueueNextMovement* weitergeleitet und anschließend nacheinander aus der Queue abgearbeitet. Für jeden Teilauftrag wird auf neue Sensordaten aus *msgQueueSensor* gewartet und die daraus entstehenden aktuellen Sensordaten mit den Soll-Sensordaten verglichen, dabei werden alle neuen Sensordaten auf ihre Legitimität überprüft und im Fehlerfall (z.B. blockierte Schiene) werden alle Motoren gestoppt und das System angehalten. Die Aktordaten werden in die *msgQueueAktorPush* geleitet.

Mini-Spec AktorDataPush: *AktorDataPush* dient zur Weitervermittlung der Aktordaten, welche geschützt weitergeleitet werden müssen (globale Variable) - wartet auf diese Aktordaten aus der *msgQueueAktorPush*. Sind Daten vorhanden wartet diese Funktion

auf die Semaphore, um anschließend in die globale Variable zu schreiben, aus welcher die Simulation liest. Für diese Semaphore wurde eine Prioritätsvererbung implementiert, um den Schreibvorgang auf die globale Variable möglichst nicht aus zu bremsen.



Abbildung 8: HRL-Steuerung mit System Viewer

4.2 Systemtests

4.2.1 Jobannahmetest

aktuell neu ->	vsetspace x y	clearspace x y	insert x y	remove x y
vsetspace x y	pass	pass	pass	pass
clearspace x y	pass	pass	pass	pass
insert x y	pass	pass	pass	pass
remove x y	pass	pass	pass	pass

Nach diesem Test können wir bestätigen, dass das Programm aus jedem Job in den Folgejob gelangt.

4.2.2 Vollständigkeit / Korrektheit

	Änderung der Belegungsmatrix
vsetspace	pass

Dieser Test bestätigt die Funktion des vsetspace-Befehls innerhalb der Spezifikationen.

	Änderung der Belegungsmatrix
clearspace	pass

Dieser Test bestätigt die Funktion des clearspace-Befehls innerhalb der Spezifikationen.

	fahre zur Eingabe	Paket annehmen	fahre zur Ablage	Paket ablegen
insert x y	pass	pass	pass	pass

Dieser Test bestätigt die Funktion des insert-Befehls innerhalb der Spezifikationen.

	fahre zur Ablage	Paket annehmen	fahre zur Ausgabe	Paket ablegen
remove x y	pass	pass	pass	pass

Dieser Test bestätigt die Funktion des remove-Befehls innerhalb der Spezifikationen.

Zudem wurde das Verhalten der automatischen Einlagerung überprüft falls das Regal

voll ist. In diesem Fall wird der Job nicht mehr angenommen und der Zustand am Terminal ausgegeben.

Falls mehrere Befehle in der Warteschlange den selben Platz setzen oder leeren wollen wurde dies nicht erkannt, dieses Fehlverhalten wurde verbessert und am Terminal quittiert.

4.2.3 Test außerhalb der Spezifikationen

In diesem Test wird das Verhalten des Programmes bei Fehlbedienung getestet, ein pass bedeutet, das der Job nicht angenommen wird.

	$x < 0 \mid y < 0$	$x > 9 \mid y > 4$	ohne Param.	ende von Pause oder Zusatz
vsetspace	pass	pass	pass	pass
clearspace	pass	pass	pass	pass
insert	pass	pass	pass	pass
remove	pass	pass	pass	pass

Dieser Test bestätigt, das bei jeder fehlerhaften Eingabe der Job nicht angenommen wird und dieses auch am Terminal anzeigt.