

Vorlage Nr. 19/180 -L
für die Sitzung der Deputation für Wirtschaft, Arbeit und Häfen
am 10.08.2016

Forschungsvorhaben ReIntegraRob - Abschlussbericht

A. Problem

Die damals zuständige staatliche Deputation für Arbeit und Gesundheit hat am 15. April 2010 der Förderung des Forschungsvorhabens ReIntegraRob zugestimmt. Durch das Forschungsvorhaben sollte gezeigt werden, dass auch schwerbehinderte Menschen, die erheblich in ihrer Motorik eingeschränkt sind, mit Hilfe des Assistenzroboters FRIEND in den allgemeinen Arbeitsmarkt integriert werden können. Hierfür sollte der Assistenzroboter FRIEND so umgebaut und erweitert werden, dass er den Anforderungen des Arbeitsplatzes und der potentiellen Nutzer/innen entspricht. Die Nutzer/innen sollten in die Lage versetzt werden, ohne menschliche Assistenzleistungen ihre Arbeit verrichten zu können.

Das Projekt wurde vom Institut für Automatisierungstechnik (IAT) der Universität Bremen in enger Zusammenarbeit mit der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen (SuUB) durchgeführt. Testperson war eine Frau, die auf Grund ihrer Behinderung stark in der Motorik eingeschränkt ist. Sie sollte durch den Assistenzroboter in die Lage versetzt werden, die Katalogisierung der Bibliothek ohne menschliche Assistenzleistungen zu überprüfen.

Die ursprüngliche Laufzeit des Forschungsvorhabens betrug 3 Jahre (1. Juni 2010 bis 31. Mai 2013). Mit ihren Beschlüssen vom 03.04.2013 und vom 12.02.2014 hat die staatliche Deputation für Wirtschaft, Arbeit und Häfen jeweils einer Verlängerung um ein Jahr zugestimmt. Damit betrug die Laufzeit insgesamt 5 Jahre und endete am 31.05.2015. Die Gesamtkosten betrugen 596.080 €.

Das Forschungsvorhaben ist damit abgeschlossen.

B. Lösung

Das Institut für Automatisierungstechnik (IAT) hat einen Abschlussbericht vorgelegt (siehe Anlage). Darin wird resümiert, dass der Assistenzroboter FRIEND erfolgreich an die Anforderungen des Arbeitsplatzes und der Testperson angepasst werden konnte. Es erwies sich allerdings als sehr schwierig das System zu vermarkten, da das Marktvolumen als sehr gering eingeschätzt wurde. Diese Erkenntnis hat zu der Einsicht geführt, dass ein neuer Vermarktungsweg ins Auge gefasst werden musste. Dieser führt über die Entwicklung neuer Technologien, die aus FRIEND abgeleitet werden können.

Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben ReIntegraRob werden im Projekt Mensch-Roboter-System (MeRoSy) weiterentwickelt. Das Projekt MeRoSy wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und vom IAT und weiteren Partnern durchgeführt. Das AVIB - Integrationsamt - ist auch hier im Projektbeirat vertreten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Forschungsvorhaben ReIntegraRob einen wichtigen Meilenstein darstellt, um schwerbehinderten Menschen einen Einstieg ins Berufsleben zu ermöglichen. Zu dem Forschungsvorhaben gab es diverse Veröffentlichungen und Presseberichte.

C. Finanzielle und personalwirtschaftliche Auswirkungen, Gender-Prüfung

Aus dem Bericht ergeben sich keine finanziellen oder personalwirtschaftlichen Auswirkungen. Die Forschungsergebnisse stehen Männern und Frauen gleichermaßen zur Verfügung.

D. Negative Mittelstandsbetroffenheit

Die Prüfung nach dem Mittelstandsförderungsgesetz hat keine qualifizierte (negative) Betroffenheit für kleinste, kleine und mittlere Unternehmen ergeben.

E. Beschluss

Die staatliche Deputation für Wirtschaft, Arbeit und Häfen nimmt den Abschlussbericht zur Kenntnis.

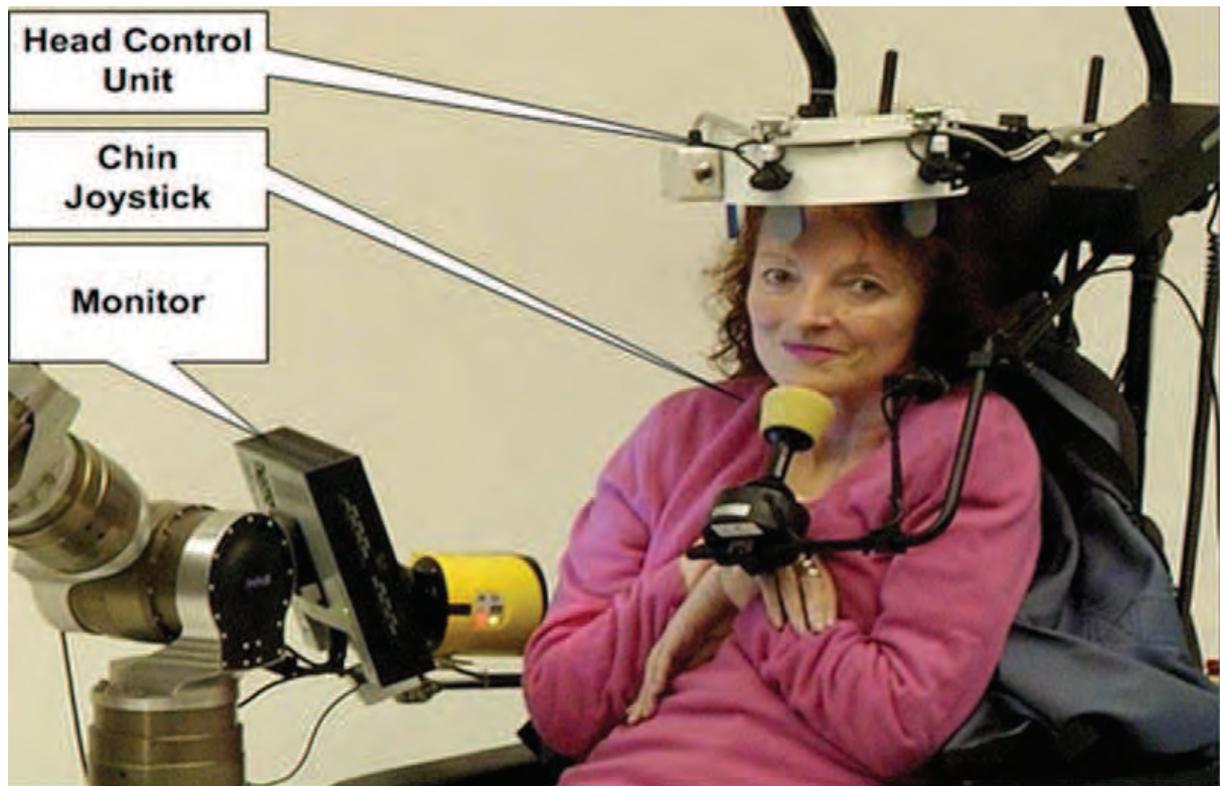
Anlage: Abschlussbericht des IAT

Abschlussbericht

Bashar Enjarini, Axel Gräser

ReIntegraRob

Ein Modellprojekt zur beruflichen Reintegration von schwerbehinderten Menschen mit Hilfe des Unterstützungsroboters FRIEND



Abschlussbericht

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Amtes für Versorgung und Integration Bremen – Integrationsamt - gefördert. Das Integrationsamt ist Teil des Versorgungsamtes, das bei Projektbeginn dem Ressort der Bremer Senatorin für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales zugeordnet war. Bei Beendigung des Projektes war das Integrationsamt als Teil des Amtes für Versorgung und Integration Bremen dem Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen zugeordnet. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren.

Projektbegleitender Ausschuss

Das Forschungsprojekt wurde von einem projektbegleitenden Ausschuss begleitet.

Mitglieder

David Geduldig
Amt für Versorgung und Integration Bremen
Leiter des Integrationsamtes
Doventorscontrescarpe 172, Block D
28195 Bremen
Tel: 0421 / 361 5294
Internet: www.avib.bremen.de
Email: David.Geduldig@versorgungsamt.bremen.de

Jens Berke
Amt für Versorgung und Integration Bremen
Vertreter
Doventorscontrescarpe 172, Block D
28195 Bremen
Tel: 0421 / 361 5329
Fax: 0421 / 496 5502
Internet: www.avib.bremen.de
Email: jens.berke@versorgungsamt.bremen.de

Benjamin Ahlborn
Staats- und Universitätsbibliothek Bremen
Dezernat 2: Integrierte Medienbearbeitung
Bibliotheksstraße Zentralbereich
28359 Bremen
Tel: 0421 / 218 - 59440
Email: ahlborn@suub.uni-bremen.de



Roko Tschakarow
SCHUNK GmbH & Co. KG
Spann- und Greiftechnik
Bahnhofstr. 106 - 134
D-74348 Lauffen/Neckar
Tel: 07133 / 103 - 2892
Internet: <http://www.schunk.com>
Email: roko.tschakarow@de.schunk.com



PD Dr. med. Matthias Spranger
Neurologisches Rehabilitationszentrum Friedehorst
Rotdornallee 64
28717 Bremen
Tel: 0421 / 6381 - 501
Email: spranger.nrz@friedehorst.de
Cornelia Kühnl



Agentur für Arbeit Bremen
Email: Cornelia.Kuehnl@jobcenter-ge.de
Christina Stabel
Arbeitgeber-Service
Schwerbehinderte Akademiker/innen
Bundesagentur für Arbeit
Zentrale Auslands- und Fachvermittlung (ZAV)
Villemombler Str. 76
53123 Bonn
Tel: 0228 / 713 - 1106
Email: Christina.Stabel2@arbeitsagentur.de

Susanne Gläsel (Vertretung von Frau Stabel)
Arbeitgeber-Service
Schwerbehinderte Akademiker/innen
Bundesagentur für Arbeit
Zentrale Auslands- und Fachvermittlung (ZAV)
Villemombler Str. 76
53123 Bonn
Tel: 0228 / 713 - 1496
Email: Susanne.Glaesel@arbeitsagentur.de

Dr. Karl-Heinz Pantke
LIS e.V., Locked-in Syndrom
Vorstandsvorsitzender
10783 Berlin
Geschäftsstelle im KEH
Herzbergstraße 79, Haus 30
Tel : 030 / 34 39 89 75
Email: pantkelis@arcor.de

Dr. Joachim Steinbrück
Landesbehindertenbeauftragter Bremen
Am Markt 20
28195 Bremen
Tel: 0421 / 361 - 18 18 1
Internet: www.behindertenbeauftragter.bremen.de
Email:
[Joachim.Steinbrueck@Behindertenbeauftragter.BREMEN
.DE](mailto:Joachim.Steinbrueck@Behindertenbeauftragter.BREMEN.DE)

An den Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses haben auch die jeweiligen IAT MitarbeiterInnen des Forschungsprojektes, MitarbeiterInnen mit direkten Interessen an den Ergebnissen, sowie die Institutsleitung teilgenommen.

Prof. Dr. Axel Gräser, Dr. Ing Basar Enjarini, Dipl. math.
Thorsten Heyer, Dipl. Ing Stefan Heyer, Dipl. Ing. Shiva
Alsharif,
Universität Bremen
Institut für Automatisierungstechnik
Otto Hahn Allee NW1
28359 Bremen
Tel: 0421 218 62444
Fax: 0421 218 9862444
Internet: www.iat.uni-bremen.de
Email: ag@iat.uni-bremen.de



Inhalt

1. EINLEITUNG.....	6
2. ZIELSETZUNG DES PROJEKTES	6
3.....	7
4. DER ASSISTENZROBOTER FRIEND	7
5. WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ERGEBNISSE.....	9
5.1. EINRICHTUNG DES ARBEITSPLATZES	10
5.2. SICHERHEITSSYSTEM FÜR DEN ARBEITSPLATZ.....	13
5.3. FESTLEGUNG UND IMPLEMENTIERUNG DER HANDLUNGSSEQUENZEN.....	15
5.3.1. <i>Grundkonzepte der Basissoftware</i>	<i>15</i>
5.3.2. <i>Kollisionsfreie Bewegungsplanung für redundante Roboter</i>	<i>19</i>
5.3.3. <i>Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen unter Verwendung von ImageNets</i>	<i>20</i>
5.3.4. <i>Szenarien</i>	<i>21</i>
5.4. AUSWAHL DER NUTZERIN UND ANPASSUNG DES FRIEND SYSTEMS	29
5.5. KONZEPTION UND REALISIERUNG DER BENUTZERSCHNITTSTELLE.....	31
5.6. AUFBAU EINER BUCHUMBLÄTTERHILFE.....	32
5.7. AUFBAU UND ANPASSUNG DES ZWEITEN DEMONSTRATORS (FRIEND SYSTEM)	34
5.8. TEST UND LANGZEITNACHWEIS DER FUNKTIONALITÄT	35
6. REHACARE	37
7. FEEDBACK DER NUTZERIN	38
8. ZUSAMMENFASSUNG	39
9. ERFOLGTE UND GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN.....	40
9.1. VERÖFFENTLICHUNGEN	40
9.2. DIPLOM- UND MASTERARBEITEN, STUDENTENPROJEKTE	42
9.3. PRESSE UND MEDIA	43
9.4. MESSEN	44
9.5. LITERATUR.....	41

1. Einleitung

„Nach dem Grundgesetz ist die Integration behinderter Menschen eine gesellschaftliche Aufgabe, die jeden betrifft („Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden“, Artikel 3 GG). Ziel einer beruflichen Integration ist es gleichzeitig, die Behinderung zu beheben, auszugleichen oder zu mildern, um den Betroffenen eine gleichberechtigte Teilnahme am gesellschaftlichen Leben zu ermöglichen.“ [32]. Oft werden für behinderte Menschen nur Arbeitsplätze in eigens geschaffenen Werkstätten angeboten und sie haben keine Chance in ihren ursprünglich erlernten Beruf zurückzukehren. Die Idee bei der Entwicklung des Assistenzroboters FRIEND ist es, körperliche Beeinträchtigungen so weit zu kompensieren, dass die Nutzer in der Lage sind ihre beruflichen Arbeitsbereiche vollständig auszufüllen. In dem durchgeführten Projekt ReIntegraRob soll einerseits dieser Nachweis geführt werden und andererseits umfangreiche Erfahrung gesammelt werden, welche weiteren Aspekte zusätzlich zu dem Unterstützungsroboter beachtet werden müssen, damit die dauerhafte Eingliederung in Arbeit, Beruf und Gesellschaft gelingt.

2. Zielsetzung des Projektes

In dem fünfjährigen Modellprojekt ReIntegraRob [33, 34], das im Juni 2010 gestartet wurde, soll erstmals ein schwerbehinderter Mensch mit Hilfe des Unterstützungsroboters FRIEND in seinen Beruf zurückkehren. Das Vorhaben wird vom Integrationsamt Bremen finanziert. Das Integrationsamt ist Teil des Versorgungsamtes, das dem Ressort der Bremer Senatorin für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales zugeordnet ist. Als Assistenzroboter wird der Unterstützungsroboter FRIEND [34] eingesetzt.

Das Projekt wird vom Institut für Automatisierungstechnik (IAT) der Universität Bremen in enger Zusammenarbeit mit der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen (SuUB) durchgeführt. Ziel ist der Nachweis, dass Nutzer von FRIEND ihren Arbeitsplatz vollständig ausfüllen können und dass alle notwendigen manipulativen Fähigkeiten am Arbeitsplatz von FRIEND bereitgestellt werden können, ohne dass eine persönliche Arbeitsassistenz notwendig ist.

Aufbauend auf Ergebnissen des Projektes AMaRob [35, 36] wurden für das Modellprojekt ReIntegraRob Vorgespräche mit potenziellen Arbeitgebern durchgeführt. Danach wurden drei mögliche Einsatzszenarien als erfolgsversprechend weiter verfolgt, nämlich der Einsatz an einem Industriearbeitsplatz in der Werkstatt Bremen, einer Werkstatt für behinderte Menschen, der Einsatz an einem Servicearbeitsplatz zur Reparatur elektronischer Baugruppen in einem Rehabilitationszentrum (NRZ Friedehorst), der Einsatz an einem Bibliotheksarbeitsplatz (SuUB). Im Projekt AMaRob wurde bereits ein Arbeitsplatz am Ausgabebetresen der Bibliothek untersucht. Für das Modellprojekt wurde in Diskussion mit der Bibliothek die retrospektive Katalogisierung von Medien im Gemeinsamen Bibliotheksverbund (GBV) mit der Bibliothekssoftware PICA als ein besseres Arbeitsgebiet identifiziert.

Da das dritte Szenario den Einsatz im ersten Arbeitsmarkt bedeutet und diese Aufgabenstellung an vielen Bibliotheken in ähnlicher Form besteht, wurde dieses Szenario für das Modellprojekt ausgewählt.

Das Projekt wird begleitet von einem interdisziplinären Konsortium bestehend aus industriellen Partnern, Pflegekräften, Kostenträgern, dem Behindertenbeauftragten des Bundeslandes Bremen sowie behinderten Personen, die ihre Erfahrung in das Projekt einbringen.

Der Nachweis, dass behinderte Personen, die normalerweise vollständig auf persönliche Unterstützung angewiesen sind und dadurch praktisch vom Arbeitsleben ausgeschlossen werden, nun mit FRIEND in der Lage sind einen Arbeitsplatz auszufüllen, eröffnet vielfältige Nutzungsmöglichkeiten der Forschungsergebnisse. Dies ist einerseits der Einsatz des FRIEND Systems bei einer großen Anzahl von Arbeitsplätzen mit behinderten Personen und andererseits können Teillösungen, die in diesem Projekt erarbeitet werden, für Personen mit ähnlichen Behinderungen eingesetzt werden.

Durch eine Begleitung durch den Integrationsfachdienst soll außerdem beobachtet werden, welche Einflussfaktoren zu Akzeptanzproblemen bei Kollegen und Kunden führen könnten – und welche vorausschauend einsetzbaren Maßnahmen diese Akzeptanzprobleme (soweit sie auftreten) verringert werden können.

Das Forschungsvorhaben greift ein aktuelles Thema der Service- und Unterstützungsrobotik auf, für das inzwischen aufgrund der in der letzten Zeit erzielten Fortschritte marktfähige Lösungen möglich werden. Mit dem Nachweis, dass behinderte Personen, die derzeit aufgrund ihrer Behinderung nahezu vom Berufsleben ausgeschlossen sind, mit FRIEND ihren Arbeitsplatz eigenständig ausfüllen können, wird ein wichtiger Einwand gegen den Einsatz behinderter Menschen beseitigt und es wird bewiesen, dass sie „nach einer anfänglichen Integrations- und Orientierungsphase in den meisten ihrer beruflich zugewiesenen Arbeitsbereiche voll leistungsfähig sind und ihren Kollegen in nichts nachstehen“ [32].

3. Der Assistenzroboter FRIEND

Der Assistenzroboter FRIEND (Functional Robot arm with user-frIENDly interface for Disabled people, siehe Abbildung 3.1) wurde in diversen Forschungsprojekten [36-38] am Institut der Automatisierungstechnik (IAT) an der Universität Bremen entwickelt mit dem Ziel, ältere und behinderte Personen in den Aufgaben des täglichen Lebens zu unterstützen und eine Reintegration ins Berufsleben zu ermöglichen.



Abbildung 3.1: Der Assistenzroboter FRIEND

Das System soll Personen, die zum Beispiel aufgrund eines Unfalls, eines Schlaganfalls oder anderer Ursachen querschnittsgelähmt sind, in die Lage versetzen viele Aufgaben im täglichen Leben wieder selbstbestimmt und ohne fremde Hilfe durch Pflegepersonal durchzuführen. Die Entwicklung von FRIEND wurde durch ein interdisziplinäres Konsortium bestehend aus Technikern, Designer sowie Therapeuten und weiteren Vertretern verschiedener Interessengruppen beeinflusst. Neben all den technischen Aspekten wurden dabei auch Designaspekte sowie Erfahrungen der Therapeuten aus der täglichen Anwendung berücksichtigt, so dass ein ansprechendes Gesamtsystem entstand und nicht einfach eine Komposition von Einzelkomponenten. In Abbildung 3.2 sind in einer Zeitachse Entwicklungsstufe des Assistenzroboters FRIEND dargestellt.

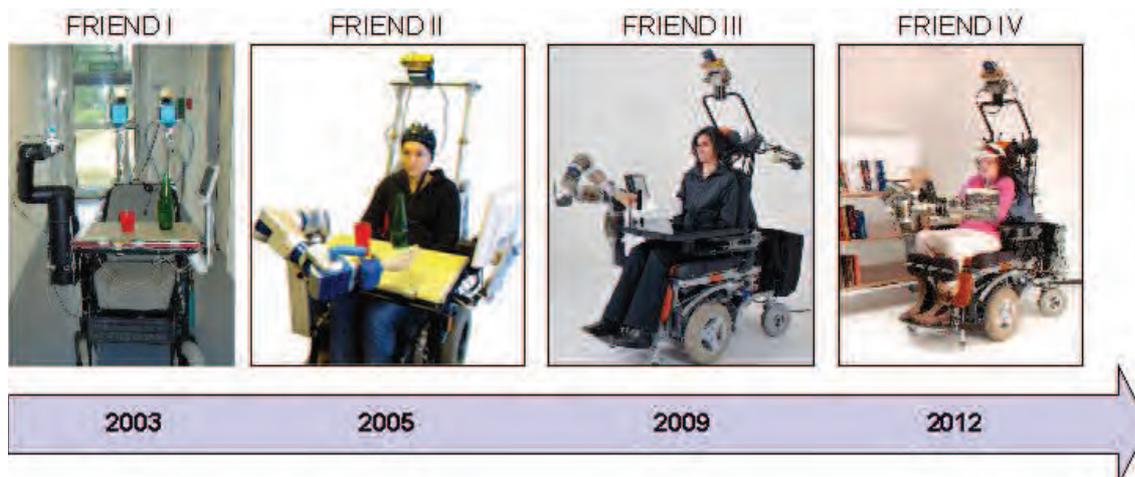


Abbildung 3.2: Zeitachse des Rehabilitationsroboter FRIEND.

Der Assistenzroboter FRIEND besteht aus einem elektrischen Rollstuhl als Plattform, in den eine Reihe zusätzlicher Komponenten integriert wurden. Ein Roboterarm (Manipulator) mit sieben Freiheitsgraden und einem Greifer ermöglicht es auch einem vollständig gelähmten Nutzer Objekte in der Umgebung zu greifen und zu manipulieren. Der Roboterarm ist auf einem Schwenkarm befestigt, so dass der Arm in einer Parkposition hinter den Sitz fixiert werden kann, um die Breite des Rollstuhls nicht zu erhöhen und ein Durchfahren enger Passagen zu gewährleisten. Über dem Kopf des Benutzers befindet sich ein Stereokamerasystem (Bumblebee) und eine 3D-Kamera (Time-of-Flight Kamera (ToF)), um Informationen aus der Umgebung aufzunehmen und zu greifende Objekte zu erkennen. Da ein Assistenzroboter aufgabengemäß nicht in komplett vordefinierten und bekannten Umgebungen arbeitet, sind die Objektpositionen nicht im Voraus bekannt. Das System muss diese Informationen während der Ausführung erst über die Kameras erfassen. Um eine Rundumsicht zu erhalten, ist das Kamerasystem auf einem Schwenk-Neige-Kopf montiert. Vor dem Benutzer befindet sich ein kleiner TFT-Monitor, über den dem Benutzer vom System Informationen zur Verfügung gestellt werden. Gesteuert werden alle Komponenten über eine Rechneinheit, die auf der Rollstuhlplattform hinter dem Benutzer angebracht ist. Als Eingabe- bzw. Bediengeräte für den Benutzer stehen verschiedene Geräte zur Auswahl: Kinnjoystick, Handjoystick, Spracheingabe sowie Brain-Computer-Interface (BCI) [39]. Die Art des Eingabegerätes muss an die Einschränkungen des Benutzers angepasst werden. FRIEND ist auch in der Lage über Infrarot- oder Funkverbindungen mit automatisierten Objekten in der Umgebung zu kommunizieren, z.B. um über eine Automatisierungseinheit eine Kühlschrankschranktür zu öffnen oder zu schließen. Automatisierte Umfeldsysteme erlauben es, die Komplexität der Robotersteuerung gering zu halten.

FRIEND ist ein Assistenzroboter mit geteilter Autonomie. Dieser Begriff besagt, dass sowohl das Automatisierungssystem als auch der Nutzer die Steuerung übernehmen können. Diese Form der Steuerung wurde gewählt um die Komplexität des Automatisierungssystems zu begrenzen, die Zuverlässigkeit zu erhöhen und um auch vollkommen unerwartete Aufgaben beherrschen zu können. Dazu werden die kognitiven Fähigkeiten des Benutzers immer dann genutzt, wenn das System selbst nicht mehr in der Lage ist die Aufgabe autonom zu erfüllen. Der Wechsel in der Verantwortung für die Durchführung einer Aufgabe kann sowohl von dem System als auch vom Nutzer ausgelöst werden. Benutzereingriffe werden unter anderem angefordert, wenn bei der Ausführung einer Aufgabe ein Fehler passiert (z.B. ein Objekt wird nicht richtig über die Bildverarbeitung erkannt), und der Nutzer wird aufgefordert dem System weitere Informationen zu geben (z.B. Roboterarm richtig zu positionieren), bevor dann der Computer die Kontrolle wieder übernimmt und mit der autonomen Ausführung fortfährt. Diese geteilte Autonomie oder auch semi-autonome Herangehensweise führt zu einer geringeren und damit heute beherrschbaren Komplexität des Gesamtsystems.

Die Aufgaben werden vom Benutzer über die Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine-Interface (HMI)) ausgewählt und auf einer abstrakten Ebene gestartet (z.B. „Greife das Buch“, „Starte die

Katalogisierung“). Nach einer Kalibrierung [25] und initialen Umgebungserfassung [20] wird die Aufgabenplanung [11, 40] gestartet und eine Liste von elementaren Operationen wird erzeugt, die die aktuelle Situation in die gewünschte Zielsituation überführen und dann anschließend vom System autonom ausgeführt werden können. Diese elementaren Operationen bestehen zum Beispiel aus Bildverarbeitungsmethoden [26-28] um bestimmte Objekte in der Umgebung zu erkennen oder aus manipulativen Algorithmen [30-31] um eine bestimmte Bewegung für den Roboterarm mit anschließendem Greifen eines Objektes zu berechnen und auszuführen. In der Regel werden diese einzelnen Operationen sequentiell verknüpft und autonom vom System ausgeführt.

In den vergangenen Projekten wurden bereits diverse Szenarien mit Hilfe von FRIEND erfolgreich realisiert. Es wurde der Nachweis erbracht, dass mit Hilfe von FRIEND für die Nutzer mindestens 90 Minuten Unabhängigkeit von Pflegepersonen erreicht werden können. Dabei wurden drei Einsatzszenarien untersucht und für Testzwecke realisiert (Beispiele siehe Abbildung 3.3):

- Ein Alltagsszenario, bei dem es um das Zubereiten, Aufwärmen und Anreichen einer Mahlzeit geht.
- Ein berufliches Szenario am Servicetresen der Bibliothek, d.h. die Ausgabe und Rücknahme von Büchern und alle damit in Zusammenhang stehenden Tätigkeiten, die auch viele manuelle Tätigkeiten beinhalten.
- Ein berufliches Szenario in einer Elektrowerkstatt, bei dem es um die optische und elektronische Kontrolle von Telefongastaturen geht, die in geringer Stückzahl angeliefert werden und systematisch zu prüfen sind, wobei die Untersuchung der Tastaturen stellvertretend für eine ganze Anzahl ähnlicher Aufgaben steht.

In allen diesen erwähnten Anwendungsszenarien sollte eine Person nur zeitweise mit dem FRIEND-System arbeiten. Eine ständige Arbeit war nicht vorgesehen. Diese Lücke sollte mit dem Forschungsprojekt ReIntegraRob geschlossen werden. Durch den ständigen Einsatz von FRIEND bekommen Begriffe wie Zuverlässigkeit, Robustheit und Autonomie eine neue Dimension.



Abbildung 3.3 FRIEND im Alltagsszenario (links, © Frank Pusch/IAT) und im Bibliotheksszenario (rechts).

4. Wissenschaftliche und technische Ergebnisse

Bevor das Projektziel von ReIntegraRob jedoch erreicht werden konnte, mussten noch eine ganze Reihe von anspruchsvollen Aufgaben gelöst werden. Nachfolgend sind in Kürze die einzelnen Arbeitspakete beschrieben, sowie jeweils der aktuelle Stand. Das Projekt wurde einmal durch Mittelerrhöhung und ein zweites Mal kostenneutral verlängert. Die kostenneutrale Verlängerung wurde durch ungeplante Personalwechsel ausgelöst.

Die folgende Zusammenstellung der Arbeitspakete überdeckt alle Phasen der einzelnen Anträge wodurch einzelne Punkte, wie z. B. die geplante und reale Dauer und Bezeichnungen von denen in den Anträgen abweichen können.

Arbeitspakete

- Einrichtung des Arbeitsplatzes
- Sicherheitssystem für den Arbeitsplatz
- Festlegung und Implementierung der Handlungssequenzen
- Auswahl der Nutzerin und Anpassung des FRIEND Systems
- Konzeption und Realisierung der Benutzerschnittstelle
- Aufbau einer Buchumblätterhilfe
- Aufbau und Anpassung des zweiten Demonstrators (FRIEND-System)
- Test und Langzeitnachweis der Funktionalität

4.1. Einrichtung des Arbeitsplatzes

Der ausgewählte Bibliotheksarbeitsplatz zur Retrokatalogisierung von Büchern umfasst grob die folgenden Tätigkeiten (siehe Abbildung 4.1), die im Weiteren auch Szenarien genannt werden:

- Greifen eines Buches vom Bücherwagen
- Ablegen des Buches auf der Buchumblätterhilfe/ Buchhalterung
- Aufschlagen der Seiten mit wichtigen Bibliotheksinformationen
- Eingabe der Daten in die Bibliothekssoftware
- ggf. Umblättern
- Schließen des Buches
- Zurückstellen des Buches auf den Bücherwagen

Dabei müssen alle manipulativen Aufgaben vom Roboterarm durchgeführt werden und die Katalogisierung von der Benutzerin Frau Kredel selbst (siehe Abschnitt 4.3.4).



Abbildung 4.1 Benötigte Aufgaben vom FRIEND-System und der Nutzerin für die Retrokatalogisierung.

Zur Einrichtung des Arbeitsplatzes wurde der Markt nach bereits verfügbaren Unterstützungssystemen wie Buchhalterungen, Umblätterhilfen, durchsucht. Die bestehenden Systeme haben sich aber als nicht flexibel genug herausgestellt bzw. eine Handhabung mit dem Roboterarm (z.B. Einlegen des Buches) unmöglich

erscheinen lassen und einige der Systeme waren zusätzlich sehr teuer. In Abbildung 4.2 sind einige der verfügbaren Systeme gezeigt.

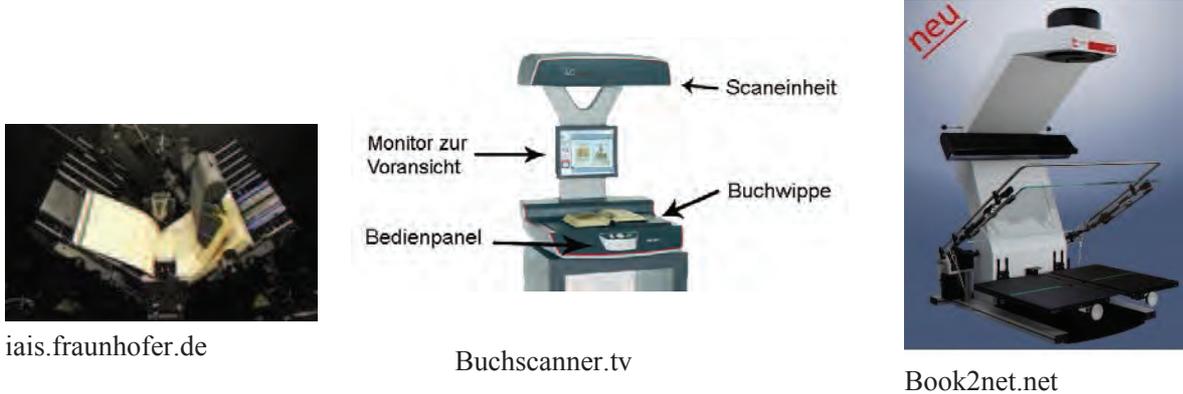


Abbildung 4.2 Existierende Systeme zum Umblättern von Büchern.

Nach der ausführlichen Recherche und Abwägung aller Vor- und Nachteile wurde entschieden eine eigene Buchhalterung bzw. Umblättherilfe für die Retrokatalogisierung zu entwickeln. Näheres zu diesen Entwicklungen werden Abschnitt 4.6 beschrieben.

Zur Steuerung und Bedienung des Computers einschließlich der Bibliothekssoftware wurde eine Sprachsoftware angeschafft (Dragon Naturally Speaking). Die Installation und Einweisung erfolgte durch eine Hamburger Vertriebsfirma. Die Sprachsoftware wurde auf das Stimmenprofil von Frau Kredel konfiguriert und ein Sprachtraining durchgeführt. Mit Hilfe der Sprachsoftware kann Sie den Computer bedienen und Texte schreiben. Zusammen mit dem Mitarbeiter der Firma wurde ausgewertet, was Frau Kredel mit der Sprachsoftware machen möchte und was die Software bereits an nützlichen Befehlen zur Verfügung stellt. Um eine einfache und schnelle Bedienung, insbesondere der Bibliothekssoftware und eines Internetbrowsers, zu ermöglichen, wurden neue Sprachbefehle generiert. Die Sprachbefehle wurden von Frau Kredel in den ersten Monaten erlernt und durch Übungen vertieft. Der Einsatz der Sprachsoftware vereinfacht die Bedienung erheblich und ging ohne größere Probleme vonstatten. Mittlerweile ist es ihr möglich mit Hilfe eines behindertengerechten Infrarot-Headsets und der Sprachsoftware den gesamten Computer und die Bibliothekssoftware autonom zu bedienen.

Um die Bücher gut und sicher greifen und manipulieren zu können, wurde die ursprünglich in FRIEND verwendete Handprothese durch einen Zweifingergreifer mit zwei parallelen flachen Greifbacken ersetzt.

Nach umfangreichen Vorarbeiten in die Hardware und Software von FRIEND und ausführlichen Tests mit der Stelleninhaberin Fr. Kredel, erfolgte im Dezember 2012 der Umzug des gesamten Arbeitsplatzes vom IAT-Labor in die Universitätsbibliothek. Der Aufbau des Arbeitsplatzes ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Da in der Bibliothek kein Druckluftanschluss zur Verfügung stand, wurde dafür ein geeigneter Kompressor angeschafft. Dieser ist besonders leise, um die Kollegen in der Bücherei nicht unnötig zu stören. Um die Geräusche weiter zu verringern, wurde noch eine spezielle Schalldämmung für den Kompressor konstruiert.

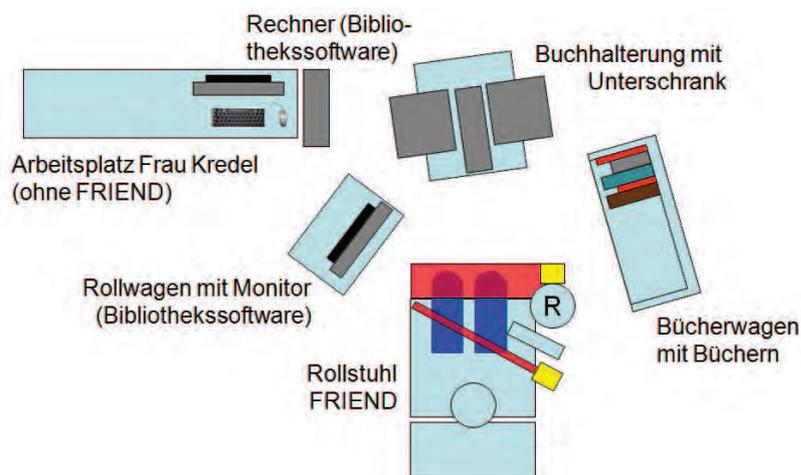


Abbildung 4.3 Aufbau des Arbeitsplatzes in der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen

Bis Ende Mai 2013 arbeitete Frau Kredel viermal in der Woche mit dem FRIEND-System in der Bibliothek. Danach erfolgte ein Umzug zurück in das IAT-Forschungslabor um die Weiterentwicklung des Systems effektiver vorantreiben zu können. In geringem Umfang mussten Tests ausfallen, wenn z.B. größere Software- oder Hardware-Updates durchgeführt wurden, die nicht alle außerhalb der Arbeitszeit von Frau Kredel erfolgen konnten oder wenn Frau Kredel sich aufgrund ihrer Erkrankung und deren Folgeerscheinungen oder durch die Belastung durch die Arbeit mit dem FRIEND System eine Pause benötigte. Das Katalogisieren mit FRIEND erfordert vermehrt Kopfbewegungen von Frau Kredel, im Vergleich dazu, dass eine Assistentin ihr die Bücher bereitstellt und umblättert. Das kann zu einem steifen Nacken oder anderen muskulären Verspannungen. Folgerungen die daraus zu ziehen sind werden in der Zusammenfassung beschrieben.

Die Möglichkeit einer Fernwartung des FRIEND-Systems wurde eingerichtet, so dass Ingenieure des IATs die Möglichkeiten haben, vom IAT aus Probleme zu analysieren und zu beheben. Eine Steuerung z.B. des Roboterarms vom IAT aus, ist nicht vorgesehen und ist nicht sinnvoll, da man vom IAT die Roboterbewegungen im Raum nicht nachvollziehen kann und FRIEND in einen Not-Aus Zustand wechseln könnte um keine Personen zu gefährden oder um Kollisionen mit Objekten in der Umgebung zu vermeiden. Dieser Fernzugriff wurde nur sehr eingeschränkt genutzt, da er das Gesamtsystem deutlich verlangsamt. Am Ende war dieser auch nicht mehr nötig, da die Studenten des IATs, die teilweise die Tests begleiteten, Frau Kredel und ihre Assistenten soweit mit dem kompletten System vertraut und

geschult waren, dass Sie in der Lage waren fast alle auftretenden Probleme selbstständig zu lösen, wenn ein Ingenieur des IATs nicht vor Ort war. Selten musste ein telefonischer Support oder ein Eingreifen eines Ingenieurs des IATs erfolgen.

Die am FRIEND-System eingewiesenen Studenten protokollieren die Tests systematisch, so dass hieraus Statistiken erstellt werden können, die die Zuverlässigkeit oder auch Unzulänglichkeiten aufzeigen (siehe Abschnitt 4.8). Diese Statistiken dokumentieren auch die Leistungsfähigkeit des Systems und stellen einen Nachweis für die Öffentlichkeit sein, dass eine Person mit Behinderung erfolgreich mit Hilfe von FRIEND in das Berufsleben integriert werden kann.

4.2. Sicherheitssystem für den Arbeitsplatz

Für eine Analyse der Gefährdungen des Benutzers am Arbeitsplatz wurde das Software Tool APIS IQ verwendet, in dem die unterschiedlichen Komponenten des Systems (Software und Hardware), auftretende Fehler und Ursachen sowie mögliche Lösungen oder Konsequenzen modelliert worden sind. [22, 24, 29]

Um die Sicherheit des Benutzers auch während der Ausführung von manipulativen Aufgaben zu gewährleisten, wurde ein vielschichtiges Sicherheitssystem auf Hardware und Softwareseite entwickelt, so dass auch bei Ausfall mehrerer Sicherheitssysteme stets die Sicherheit des Benutzers sichergestellt ist. Hierzu wurden u.a. zwei SICK Laserscanner am FRIEND angebracht, die jeweils einen unsichtbaren Sicherheitsvorhang zwischen den Benutzer und Roboterarm legen. Sobald der Roboter in den Bereich des Nutzers eindringt wird die Bewegung des Armes automatisch gestoppt. Um die Unabhängigkeit dieses Sicherheitssystem vom FRIEND zu gewährleisten, wurde es nicht an den Rechner für die Steuerung des Roboterarmes angeschlossen sondern arbeitet parallel. Beim Eindringen des Manipulators in die innerste Sicherheitszone, wenn also alle anderen äußeren Zonen versagen, wird die Stromzufuhr für den Roboterarm sofort unterbrochen (siehe Abbildung 4.4). Die Position des installierten, zweiten Laserscanner, der den Nutzerbereich (Knie-/Beinbereich) vom Arbeitsbereich des Roboterarms abgrenzt, musste mehrmals auf die Bedürfnisse der Benutzerin und die Aufgabenstellung angepasst werden. Dies bedeutet, dass zum einen der Bereich des Sicherheitsfeldes nicht zu groß gewählt werden durfte, um den Roboter bei seiner Aufgabenerfüllung nicht zu sehr einzuschränken, aber es durfte auch nicht zu klein gewählt werden, um die Nutzerin vollständig vor dem Roboterarm zu schützen und kleine Bewegungen ihrerseits durften nicht die Sicherheitsvorkehrungen auslösen. Um ein einfaches Abschalten der Laserscanner und damit ein Umgehen dieser Sicherheitsvorkehrung zu verhindern, wurde ein Schlüsselschalter montiert, so dass das Abschalten nur mit einem entsprechenden Schlüssel möglich ist.

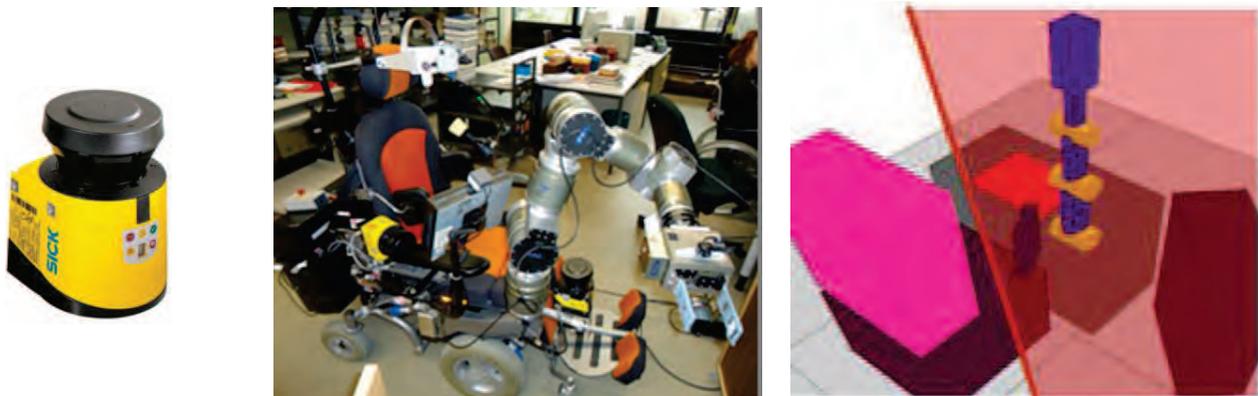


Abbildung 4.4 Sicherheitssystem mit zwei SICK Laserscanner

Darüber hinaus wurden noch andere Sicherheitssysteme untersucht, z.B. das kamerabasierte „Safety-Eye“ der Firma PILZ. Eine Diskussion mit Mitarbeitern der Firma am IAT hat aber gezeigt, dass ein Einsatz für

diese Anwendung nur schwierig möglich ist, bzw. das Gerät für die Anwendungen bei FRIEND nicht die nötigen Zertifizierungen besitzt.

Die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboterarms wurde außerdem an die Entfernung vom Benutzer gekoppelt, d.h. sobald der Roboterarm sich näher an den Benutzer heran bewegt, wird die Geschwindigkeit gedrosselt. Ein Watchdog („Wachhund“) für die Überwachung des Rechners; d.h. bei Rechnerausfall erfolgt ein sofortiger Stopp des Roboterarmes durch Stromtrennung, wurde ebenfalls installiert. Des Weiteren ist am Roboterarm ein Kraftmomentensensor angebracht, der sofort wahrnimmt, wenn der Roboter mit einem Objekt oder Hindernis kollidiert. Des Weiterem wurden zwei Dioden über den Monitor des Benutzers angebracht, die anzeigen, ob die Laserscanner aktiv sind (rot) und ob der Roboterarm Strom hat (gelb). Der Nutzer weiß damit, dass die Sicherheitssysteme aktiv sind bzw. ob ein Sicherheitssystem ausgelöst wurde. Ein Teil der integrierten Sicherheitssysteme sind in Abbildung 4.5 zu finden.

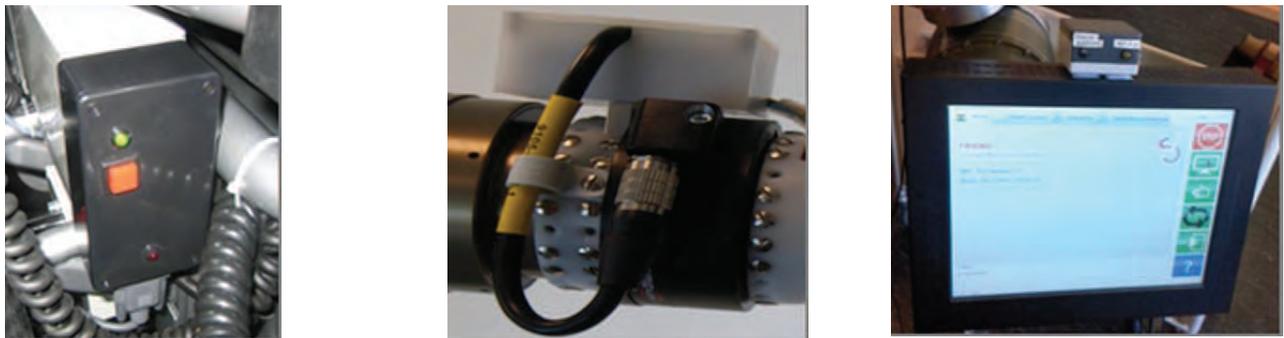


Abbildung 4.5 Watchdog (links), Kraftmomentensensor (Mitte) und Monitor mit 2 Dioden (rechts)

Für die Ermittlung von Anomalien, d.h. die Vorhersage eines Fehlers und/oder die Erkennung von Abweichungen vom normalen Ablauf, wurde das spezielle Tool LogAnalyzer entwickelt (siehe Abbildung 4.6). Dieses ist zurzeit nur offline benutzbar, d.h. nach z.B. einem Testtag, kann hierüber eine nachträgliche Analyse dieses durchgeführt werden.

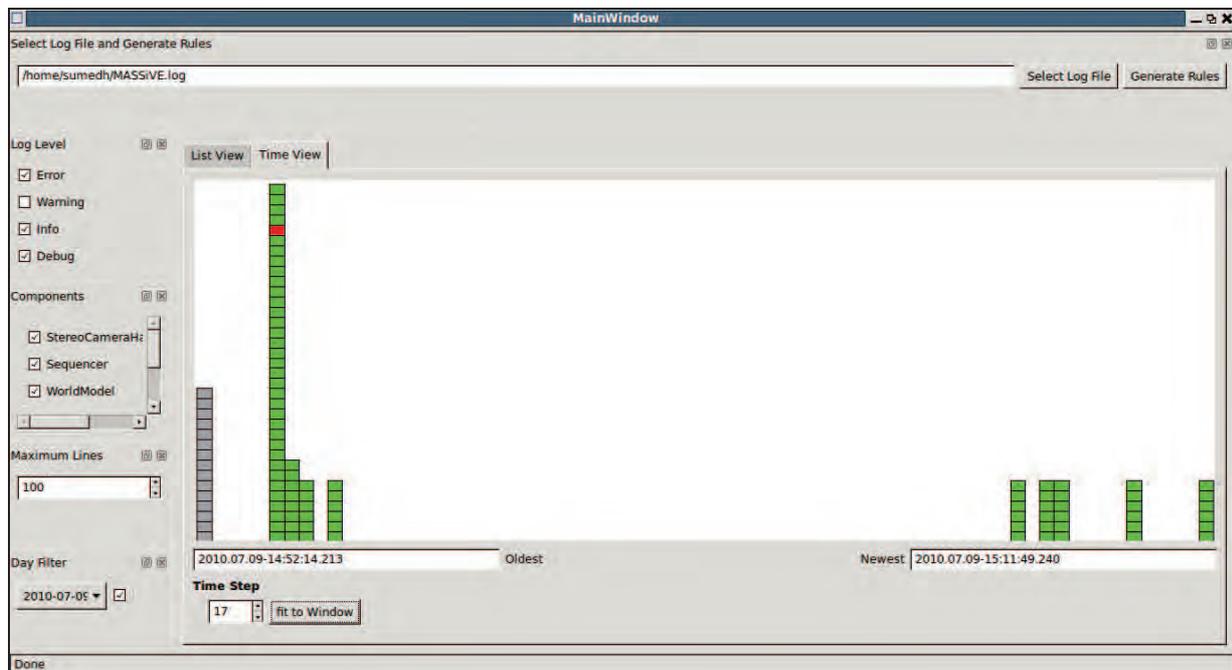


Abbildung 4.6 Nachträgliche Analyse eines Testtages mittels LogAnalyzer.

Um dem Nutzer außerdem die Möglichkeit zu geben, den Roboterarm sofort zu stoppen, wurde ein spezieller Not-Aus-Schalter in der Nähe des Kopfes der Nutzerin angebracht. Näheres siehe Abschnitt 4.4.

Außerdem wurde eine Sicherheits-Checkliste (siehe Abbildung 4.7) entwickelt, in der genau festgelegt ist, wie das System beim Starten in einen sicheren Startzustand überführt werden kann, so dass auch hier keine Gefahr für die Nutzerin besteht. Die Liste wurde durch Tests immer weiterangepasst und so einfach wie möglich, aber so ausführlich wie nötig gehalten und durch Grafiken untermalt, damit auch nicht-technisches Personal (z.B. die Pflegekräfte) in der Lage ist, FRIEND in diesen sicheren Startzustand zu überführen und das System in den betriebsbereiten Zustand zu versetzen. Jeder einzelne Punkt der Sicherheitsliste muss dabei von der jeweiligen Person dokumentiert und bestätigt werden.

Das entwickelte und installierte Sicherheitssystem hat sich in den Testmonaten als voll funktionsfähig erwiesen – sowohl die aktiven als auch die passiven Komponenten. Nie trat eine Gefährdung der Nutzerin ein.

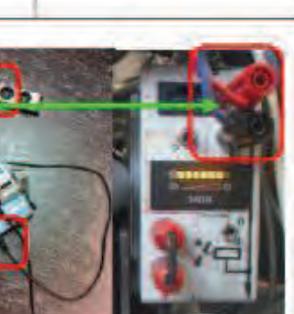
10. Roboterarm bis Anschlag zurückklappen und Monitor zurück drehen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Kopfsteuerung nach unten klappen und fixieren, so dass die Nutzerin alle Knöpfe erreichen kann		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Rollstuhl vor die Buchhalterung fahren (Markierungen auf dem Boden, bes. rechte Markierung beim Bücherregal wichtig)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überprüfen, ob FRIEND am Ladegerät angeschlossen und ob der rote und der schwarze Stecker richtig hineingesteckt sind. (durch das Fahren mit dem Rollstuhl ziehen Sie ggf. hinaus)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Laserscanner aktiv schalten: Schlüssel senkrecht drehen und abziehen (→ rote Lampe ist aus); Schlüssel in Säckchen am Kinnjoystick stecken		<input type="checkbox"/>			

Abbildung 4.7 Kleiner Ausschnitt aus der entwickelten Sicherheitscheckliste.

4.3. Festlegung und Implementierung der Handlungssequenzen

Im Folgenden gehen wir ein wenig mehr in Detail auf die in Abschnitt 4.1 beschriebenen und benötigten Handlungssequenzen ein. Dabei wurde der Gesamttablauf in einzelne Teilszenarien zerlegt, die von FRIEND dann autonom ausgeführt werden können. Um diese Handlungssequenzen besser zu verstehen, wird sehr kurz auf den für das Verständnis notwendigen grundlegenden Aufbau der Gesamtsoftware und der Interaktionen untereinander eingegangen. Eine detailliertere Beschreibung ist in [36, 40] zu finden, da dort die Konzepte für das Software-Framework vom FRIEND-System entwickelt worden sind.

4.3.1. Grundkonzepte der Basissoftware

Die Aufgabenausführung ist auf Ablaufstrukturen basiert, sowie auf dem Paradigma der Teilautonomie. Dies bedeutet, dass das System die Aufgabe so weit wie möglich autonom zu lösen versucht. Ist dies nicht möglich (z.B. Buch wurde nicht erkannt), wird der Nutzer um Rat gefragt (z.B. Bitte um Spezifikation des

Buches) und anschließend gibt dieser die Autonomie an das System zurück und dieses versucht mit den zusätzlichen Wissen die Aufgabe erfolgreich zu lösen. Diese Konzepte sind in der Software-Architektur MASSiVE, auch FRIEND::Architecture genannt, realisiert Ein Überblick über die MASSiVE Architektur ist in Abbildung 4.8 dargestellt, wobei hier nicht auf alle Details eingegangen werden kann.

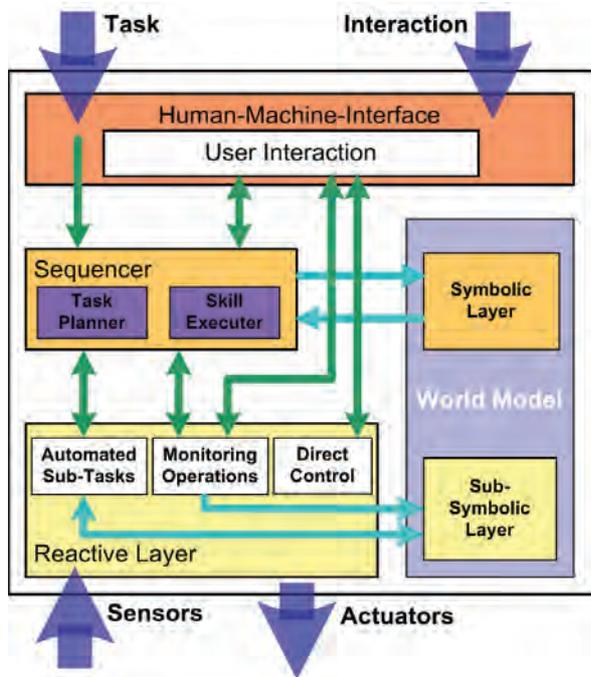


Abbildung 4.8: FRIEND::Architecture (auch MASSiVE Architektur genannt).

Der Sequenzer plant die Sequenzen von Operationen, die nötig sind um eine bestimmte Aufgabe (z.B. „Greife das Buch“) auszuführen. Hierfür muss er z.B. erst prüfen, ob die Umgebung (z.B. der Bücherwagen) bereits erkannt worden sind. Wenn dies bereits geschehen ist, kann der Schritt übersprungen werden. Der Sequenzer erhält nach jeder Ausführung einer einzelnen Operation eine Rückmeldung über deren Erfolg bzw. Misserfolg. Wenn es erfolgreich gewesen ist, wird die nächste Operation ausgeführt, ansonsten versucht der Sequenzer die fehlgeschlagene Aufgabe anderweitig zu lösen z.B. mit Hilfe des Benutzers. Die Sequenzen von Operationen sind aus seiner Sicht elementare ausführbare Operationen (EEOP). Die Ausführung von Basisoperationen findet in der Reaktiven Ebene oder in der Ebene der Mensch-Maschine-Schnittstelle des Systems statt. Durch einheitliche Softwareschnittstellen, werden die Operationen vom Sequenzer auch einheitlich behandelt. Wie in Abbildung 4.9 dargestellt, besteht der Sequenzer aus zwei Modulen: Der Aufgabenplaner und der Aufgabenausführer. Der Planer und der Ausführer können unabhängig voneinander agieren. So werden sowohl die Kontrolle eines Skill-Aufrufs in der Reaktiven Ebene als auch Reaktionen im Planer, wie Unterbrechung einer laufenden Aufgabenausführung und die Neuplanung von Operationssequenzen, ermöglicht

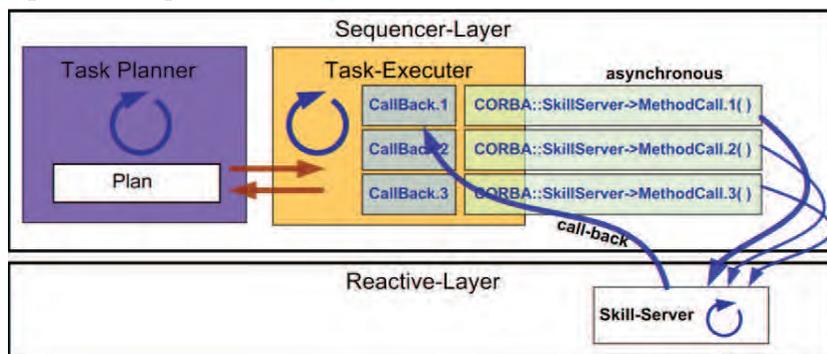


Abbildung 4.9: Skillausführung des Sequenzers.

Der Name Reaktive Ebene kommt von dem reaktiven Verhalten, welchen sie erfüllen soll. Das bedeutet Sensoren und die Steuerung von Aktoren direkt zu koppeln (z.B. um einen Regelkreis zu entwerfen), um autonomes Verhalten zu erhalten, das robust gegenüber dynamischen Veränderungen der Umgebung ist. Wie in Abbildung 4.9 zu sehen, ist die Reaktive Ebene auch für das Ausführen von Beobachtungsaufgaben (basierend auf Sensorergebnissen) und die direkte Steuerung von Aktoren (manipulative Skills) verantwortlich. Der zweite Aspekt ist zum Beispiel wichtig, wenn eine Benutzerinteraktion in Form einer direkten Aktuatorsteuerung notwendig wird. Aus diesem Grund stellen mehrere Skillserver die notwendigen Basisoperationen (Skills) zur Verfügung, die den Zugriff auf Sensoren und Aktoren des Systems oder ferngesteuerte Geräte ermöglichen. Das bedeutet, dass eine Skillebene Zugriff auf eine Hardwareebene hat, wobei unterschiedliche Hardwareserver grundlegende Hardwarefunktionalitäten einkapseln.

Für jedes benötigte Szenario muss eine Szenarienanalyse, bestehend aus der Spezifikation der Szenarien und der Beschreibung von Teilszenarien, durchgeführt werden. In diesem werden die in dem zu spezifizierenden Szenario involvierten System- und Umweltobjekte bestimmt und näher beschrieben. Anschließend wird die Gesamthandlung in einzelne, logisch sinnvolle Teilhandlungen zerlegt. Die Teilhandlungen werden so gewählt, dass sie wieder verwendbar sind und mit ihnen das gewünschte Ziel erreicht werden kann. Es ergeben sich für jedes benötigte Szenario abstrakte und elementare Prozessstrukturen wie exemplarisch in Abbildung 4.10 bis Abbildung 4.13 dargestellt.

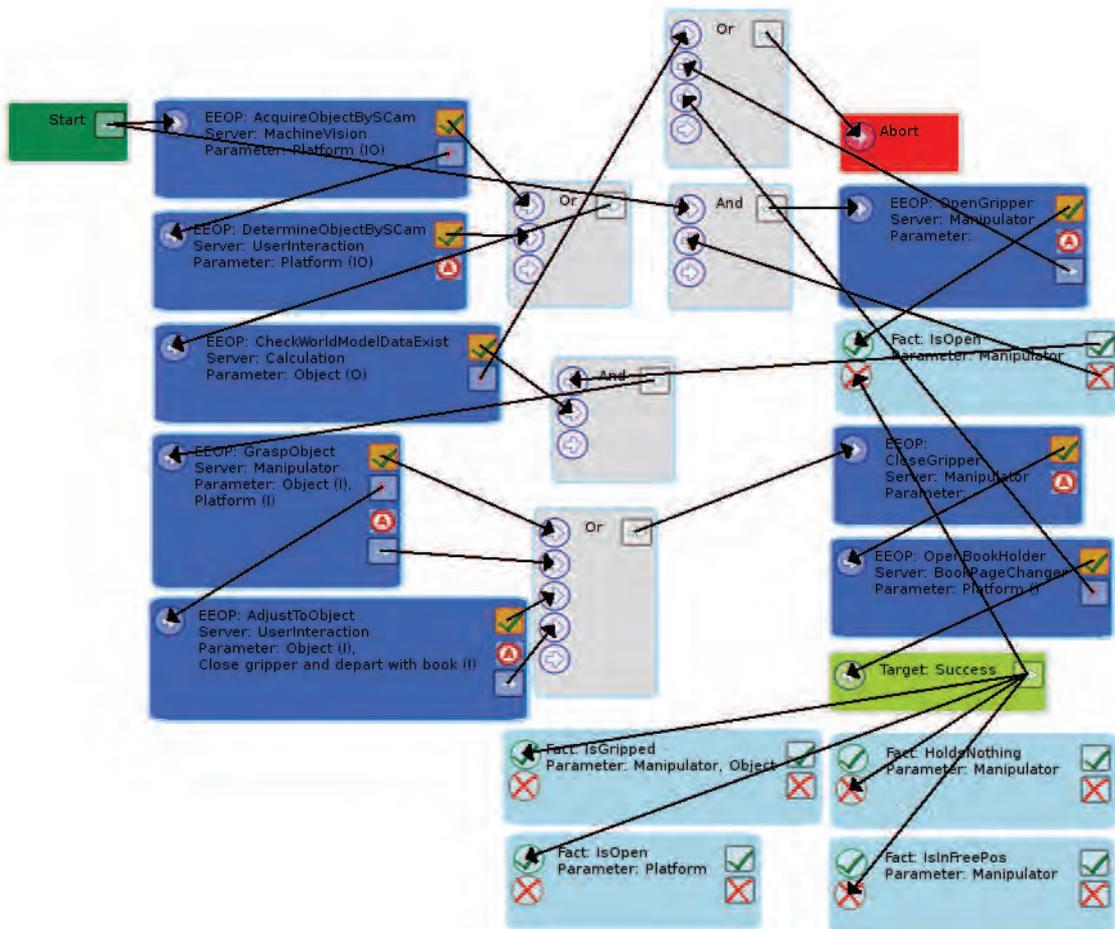


Abbildung 4.10: Elementare Prozessstruktur PSE für „Hole Buch vom Bücherwagen“.

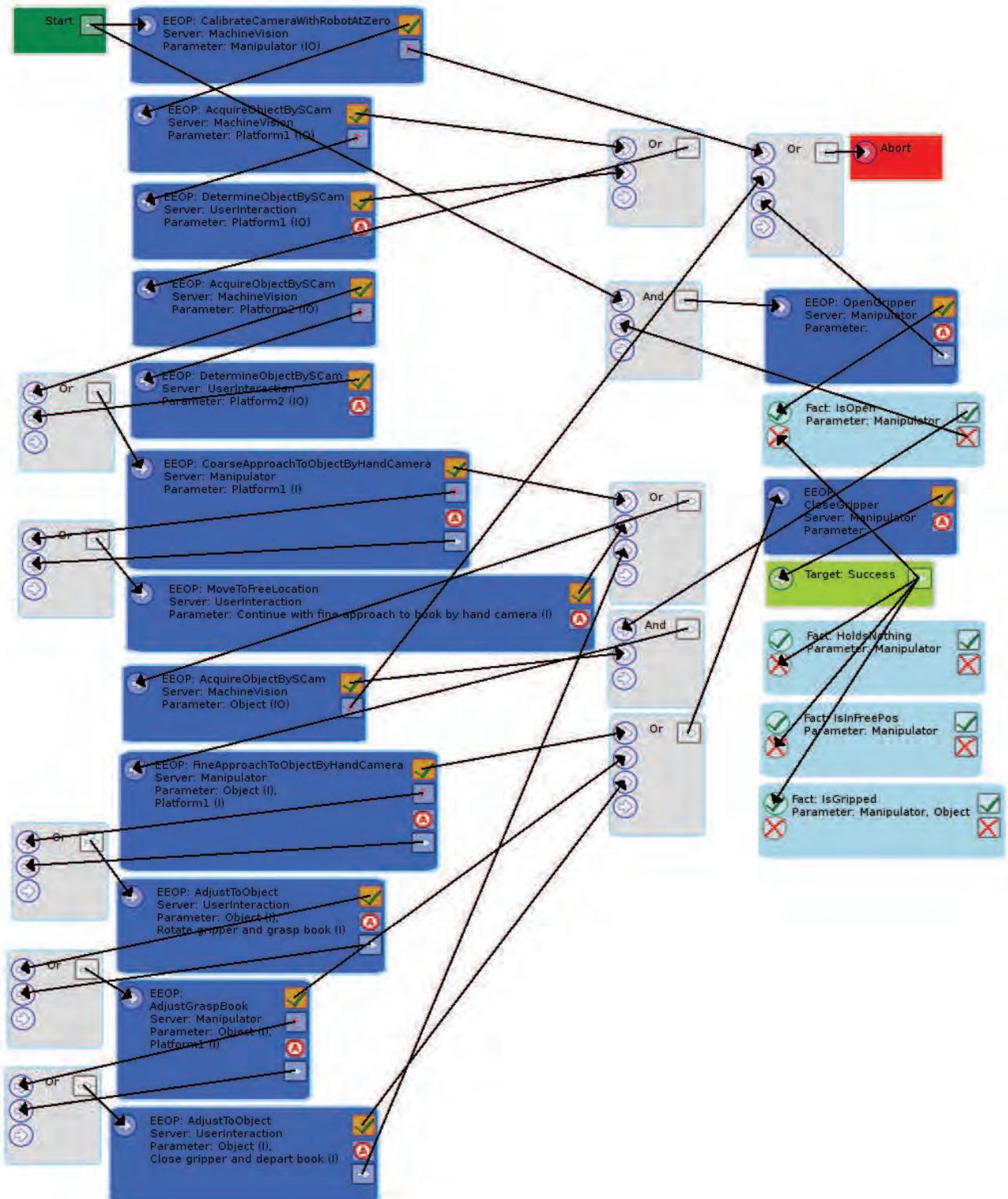


Abbildung 4.11: Elementare Prozessstruktur PSA für „Greife Buch von der Buchhalterung .

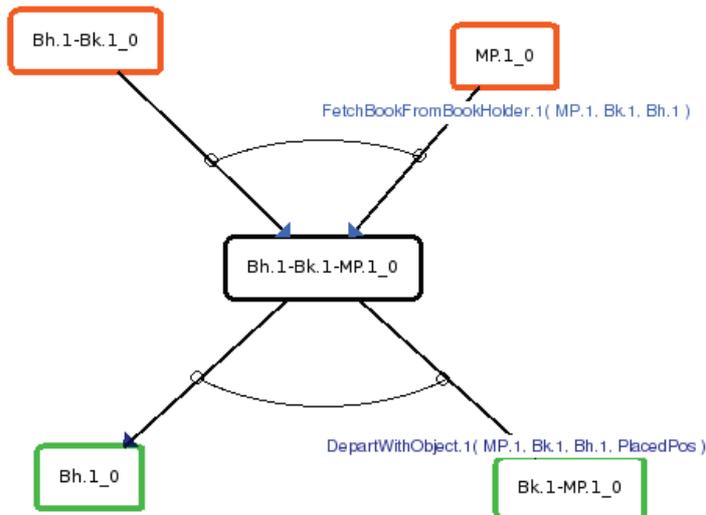


Abbildung 4.12: Elementare Prozessstruktur PSE für „Greife Buch von der Buchhalterung“.

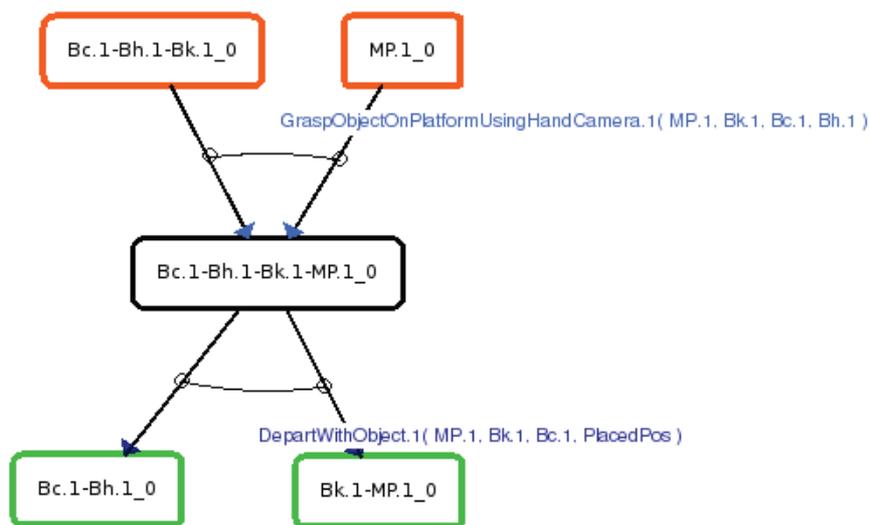


Abbildung 4.13: Elementare Prozessstruktur PSA für „Greife Buch mit Handkamera“.

Diese abstrakten Prozessstrukturen haben u.a. den Sinn, dass keine Verklemmungen (Deadlocks) im System entstehen können. Auf diese Weise wird formal geprüft, ob unabhängig von der eigentlichen Implementierung die Modellierung des Szenarios schlüssig ist. Dies erhöht die Strukturiertheit der Entwicklungen und beugt Fehlern vor.

4.3.2. Kollisionsfreie Bewegungsplanung für redundante Roboter

Der in FRIEND benutzte Roboterarm (Manipulator) hat 7 Freiheitsgrade, d.h. er hat einen Freiheitsgrad mehr als erforderlich für die Bewegung im Raum. Dies nennt man Redundanz. Diese Redundanz verbessert die Fähigkeiten des Manipulators, da der zusätzliche Freiheitsgrad für optimiertes Greifen oder Kollisionsvermeidung benutzt werden kann. Die Tatsache dass bei redundanten Manipulatoren verschiedene (theoretisch unendlich viele) Gelenk-Konfigurationen für eine Lage des Greifers passend sind, ist der größte Vorteil der Redundanz, was aber die Steuerung zusätzlich erschwert.

Verschiedene Algorithmen für die Bewegungsplanung des Manipulators wurden untersucht und entwickelt [4, 12, 19, 21, 30, 31]. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Algorithmen ist die Methodik wie ein Bewegungsprofil von einem Start- zu einem Zielpunkt unter Angabe verschiedener Beschränkungen (z.B. Gelenkgrenzen, Hindernisse, ...) oder Optimierungskriterien (z.B. so schnell wie möglich, so energieminimal

wie möglich, ..) bestimmt wird. Die Algorithmen nutzen den Kartesischen Raum, um den N-dimensionalen Roboterraum zu generieren. Schematisch ist dies in Abbildung 4.14 dargestellt.

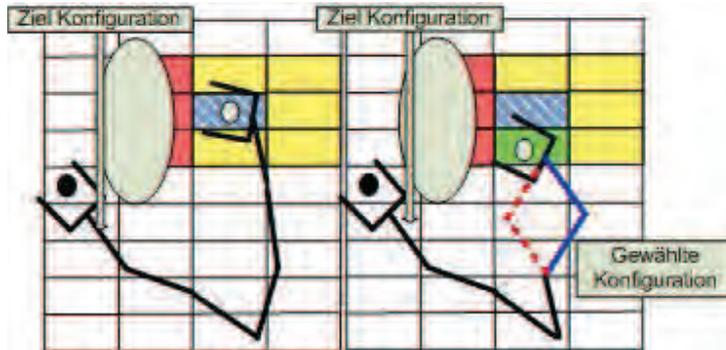


Abbildung 4.14: Beispiel einer Zelle für einen 2D Roboterarm mit 3 Freiheitsgraden. Rote Zellen sind in Kollision, gelbe sind die geprüften Zellen, grün ist die gewählte Zelle und die blaue Konfiguration ist die gewählte Konfiguration.

In dieser Grafik bedeuten rote Zellen Kollisionen mit Objekten. Die gelben Zellen sind Konfigurationen, die der Roboterarm von seiner aktuellen Stellung (blaue Zelle) erreichen kann. Für weitere, detailliertere Beschreibungen verweisen wir auf die obigen Literaturquellen.

4.3.3. Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen unter Verwendung von ImageNets

Für die Entwicklung von Bildverarbeitungsrouinen wurde das am IAT entwickelte Tool ImageNets benutzt [5, 6]. Dies ist eine speziell für die Service-Robotik entwickelte blockbasierte Programmierung von vorwiegend Bildverarbeitungsrouinen. Ein Vorteil von ImageNets gegenüber herkömmlichen Tools ist, das man über Drag & Drop schnell komplexe Algorithmen aus dem bestehenden Fundus von Standard-ImageNet-Blöcken erzeugen kann. Da man jederzeit die Ein- und Ausgänge jedes Blockes überprüfen kann, ist die Fehlersuche deutlich einfacher. Es besteht auch die Möglichkeit spezialisierte Blöcke zu entwickeln, um andere, nicht allgemeine Aufgabenstellungen zu lösen. Verschiedene Kamerasysteme und sogar der Roboterarm können eingebunden werden. Steuerkonstrukte wie Rückkopplungsschleifen, Trigger, ... sind dort ebenfalls möglich um auch komplizierte Ablaufstrukturen der Bildverarbeitung zu modellieren (siehe Abbildung 4.15). Bei der Entwicklung besteht die Möglichkeit alles in der virtuellen Welt von ImageNet zu modellieren, zu testen und erst danach auf dem FRIEND-System zu testen. Ein kleines Beispiel ist in Abbildung 4.16 zu finden.

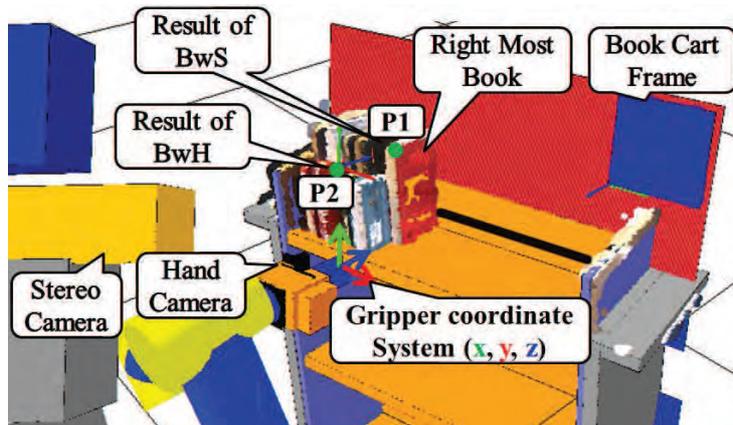


Abbildung 4.15: Virtuelle Roboterwelt und erkannte Objekte erzeugt mit ImageNet.

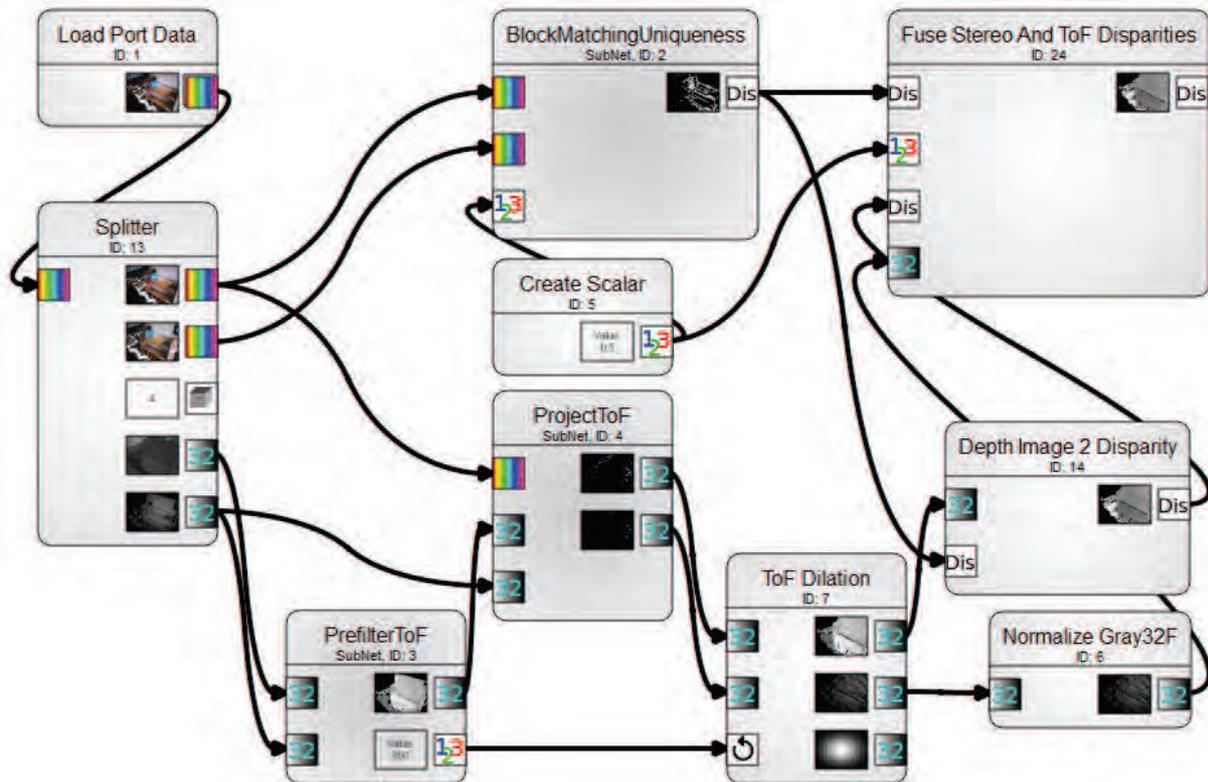


Abbildung 4.16: Beispiel eines kleinen ImageNets.

Im Folgenden gehen wir weiter auf die für die Retrokatalogisierung benötigte Szenarien ein.

4.3.4. Szenarien

Teilszenario 0: Kalibrierung

Die benötigten Objekte in der Umgebung wie z.b. der Bücherwagen und die Buchhalterung wurden mit Markern ausgerüstet, so dass diese von dem am FRIEND-System montierten Kameras erkannt werden konnten und so ein 3D Model von der Umgebung (siehe Abbildung 4.17) erstellt werden konnte. Dieses ist nötig, damit der Roboter seine Wege (Trajektorien) zwischen den einzelnen Stationen planen kann. Diese Trajektorien sind nicht starr vorgegeben, sondern passen sich automatisch an, je nachdem, wo die Objekte in der Umgebung stehen.

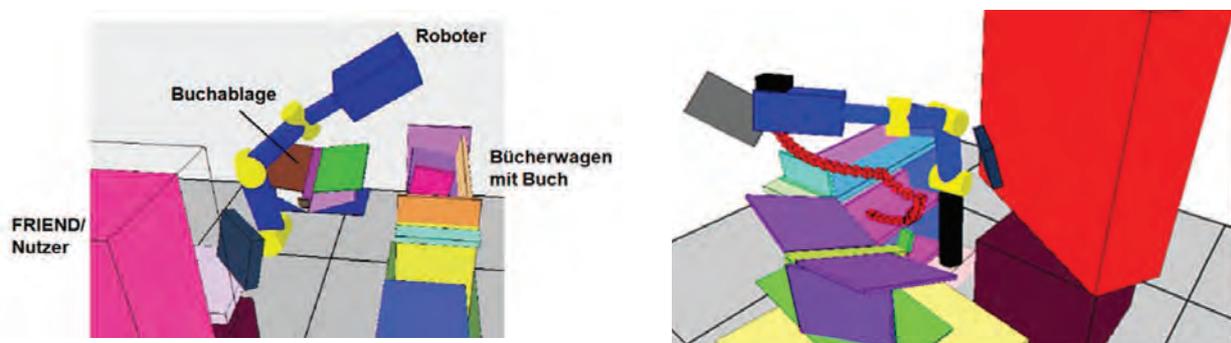


Abbildung 4.17: 3D Model mit den erkannten Objekten in der Umgebung (links) und eine Trajektorienplanung des Manipulators (rechts).

Grundvoraussetzung für ein robustes und zuverlässiges System ist eine zuverlässige Kalibrierung des Systems, d.h. die genaue relative Position der Kameras zum Roboterarm und den Objekten in der Umgebung muss bekannt sein, was aufgrund der Bauweise des Rollstuhls und Ungenauigkeiten bei der Grundposition des Roboterarmes schwierig ist. Daher wurde das bestehende Kalibrierungskonzept erweitert und angepasst. Dafür wurde auf dem Greifer ebenfalls ein Marker montiert, der dazu benutzt wird, die relative Position des Greifers zum zu greifenden Objekt zu ermitteln. Das hat den Vorteil, dass Ungenauigkeiten in der Konfiguration der Robotergelenke unerheblich werden. Vor jedem Greifen eines Objektes wird diese Kalibrierung erneut durchgeführt, um Fehler zu minimieren.

Die Bildverarbeitung muss in der Lage sein, den Bücherwagen, die Buchhalterung und die einzelnen Bücher auf dem Bücherwagen sicher zu erkennen. Da die Bildverarbeitung die Daten für die Bewegung des Roboterarms liefert, sind robuste und zuverlässige Algorithmen notwendig, die unter verschiedensten Umgebungsbedingungen eine genaue Erkennung und 3D-Rekonstruktion der Objekte ermöglichen. Um die im Vergleich zu anderen Objekte sehr kleinen Bücher sicher mit dem FRIEND Greifer greifen zu können und auch kleine Fehler in der Erkennung und Kalibrierung auszugleichen, wurde auf dem Greifer eine Handkamera montiert, die die Feinannäherung an das zu greifende Buch auf dem Bücherwagen steuert (siehe Abbildung 4.18).



Abbildung 4.18: Handkamera auf Greifer montiert für die Feinkorrektur beim Büchergreifen.

Teilszenario 1: Buch von Bücherwagen nehmen

Mit Hilfe der Kamerasysteme am FRIEND sowie geeigneter Bildverarbeitungsalgorithmen wird das als nächstes zu greifende Buch (ist das Buch am Weitestens rechts) auf dem bereitgestellten Bücherwagen erkannt und dessen 3D-Position bestimmt. Einen Überblick über die Interaktion der verschiedenen Kamerasysteme und des Roboterarmes ist in Abbildung 4.19 zu finden. Zuerst wird mittels einer Stereokamera (Bumblebee) geschaut, wo sich ungefähr das nächste Buch auf dem Bücherwagen befindet (siehe Abbildung 4.20 und Abbildung 4.21). Diese Kamera ist ungefähr 1-1,5 Meter vom Buch entfernt auf dem FRIEND-System montiert und kann damit die 3D Position des Buches in der Umgebung nicht immer zuverlässig genau genug für den Greifprozess ermitteln. Insbesondere der Neigungswinkel des Buches ist schwierig zu bestimmen. Auf Basis der Bildverarbeitungsdaten von der Bumblebee wird eine geeignete Trajektorie für den Roboterarm autonom vom System bestimmt und der Arm entsprechend vor das ermittelte Buch bewegt.

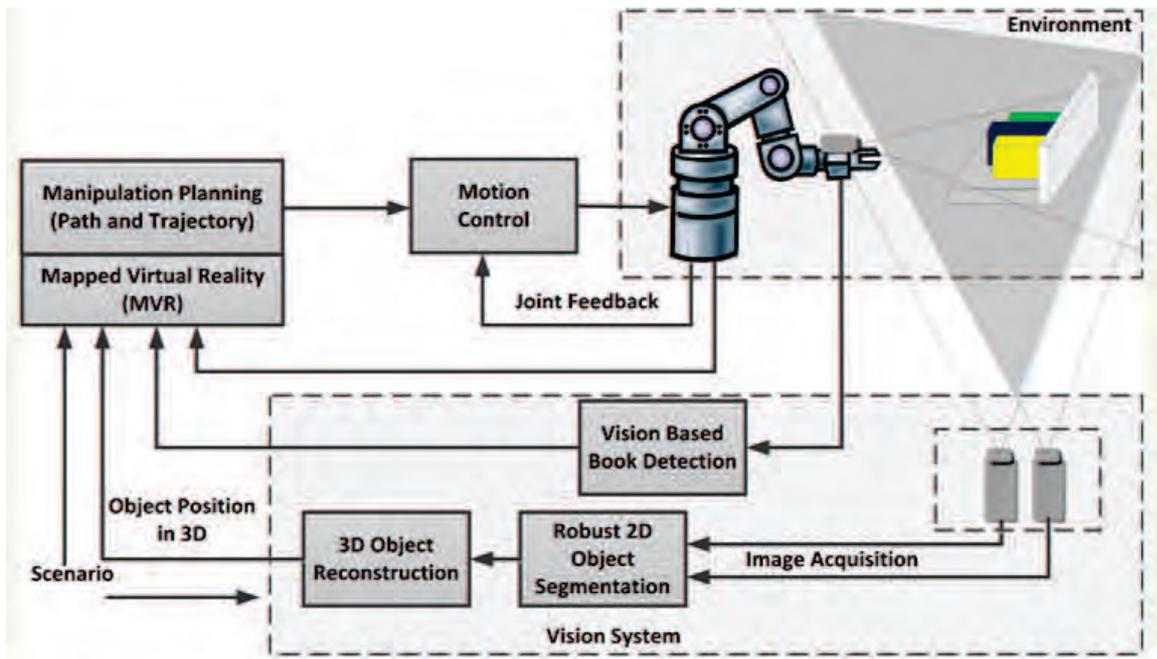


Abbildung 4.19: Überblick über die Algorithmen zum Buchgreifen

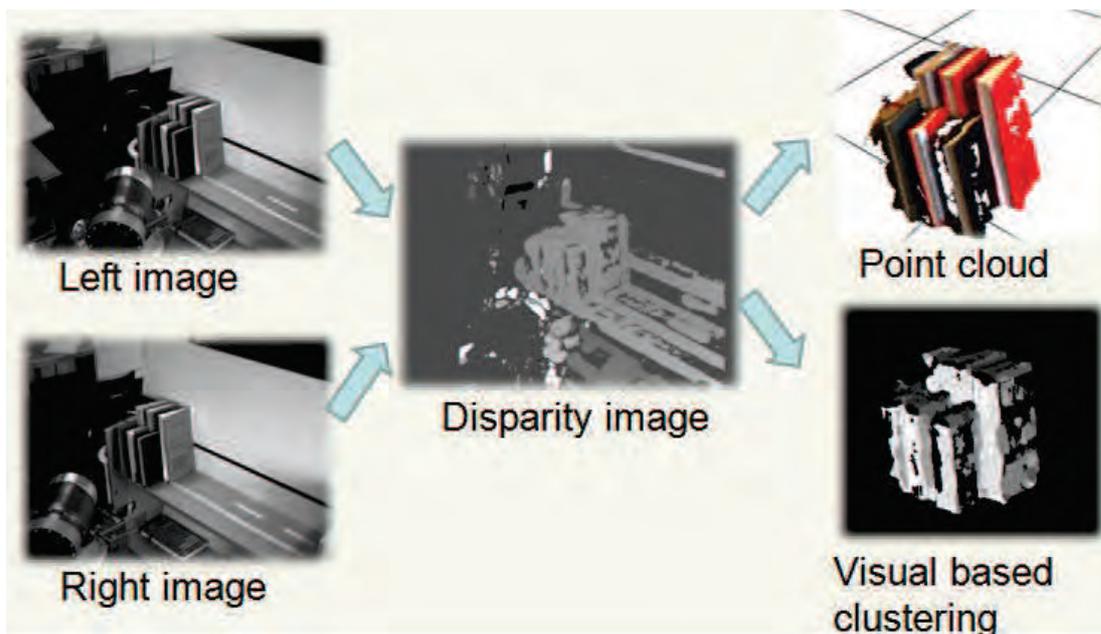


Abbildung 4.20: Mittels der Stereokamera wird das nächste zu greifende Buch auf dem Bücherwagen detektiert.



Abbildung 4.21: Mittels der Stereokamera wird das nächste zu greifende Buch auf dem Bücherwagen detektiert.

Mittels der auf dem Greifer montierten Handkamera werden die erkannten Buchdaten von der Stereokamera validiert und eine Feinkorrektur durchgeführt. Die Handkamera ist nur 10-15 cm vom Buch entfernt und daher kann das Buch mit hoher Genauigkeit erkannt werden (siehe Abbildung 4.22), so dass der Greifer auch in der Lage ist in dünne Zwischenräume ohne Kollision mit den Büchern zu fahren.



Abbildung 4.22: Mittels der Stereokamera wird das nächste zu greifende Buch auf dem Bücherwagen detektiert (links) und anschließend vom Manipulator gegriffen (rechts).

Teilszenario 2: Buch auf die Buchhalterung legen

Um das gegriffene Buch erfolgreich und genau auf die Buchhalterung abzulegen, benötigt der Manipulator genau die Größe des Buches und den Winkel, wie er das Buch gegriffen hat. Während und vor dem Greifprozess ist es für die Bildverarbeitung schwer, die genaue Größe des Buches, die ja vorab nicht bekannt ist, abzuschätzen, da das Buch noch auf dem Regal steht. Außerdem ist der Winkel, mit dem das Buch gegriffen worden ist, erst nach dem Greifprozess bekannt. Daher bewegt sich der Roboterarm mit dem gegriffenen Buch so, dass er das Buch vor die Kamera des FRIEND-Systems hält, um die Buchgröße und den Greifwinkel zu ermitteln (siehe Abbildung 4.24). Denn die genaue Größe ist für eine sichere Handhabung des Buches und ein präzises Ablegen auf der Buchhalterung zwingend erforderlich. Nachdem die auf dem Tisch vor dem FRIEND stehende Buchhalterung ebenfalls wieder über einen Marker erkannt wurde, wird das Buch auf selbiger abgelegt (siehe Abbildung 4.25).

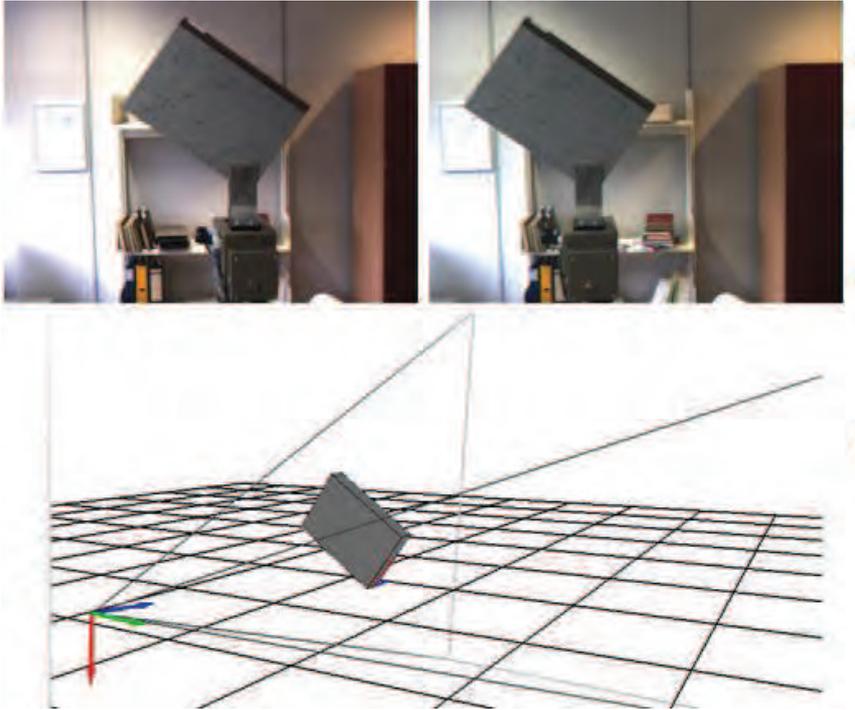


Abbildung 4.24: Mittels der 3D-Kamera (ToF) wird die Buchdimension und der Greifwinkel ermittelt.



Abbildung 4.25: Ablegen des Buches auf der Buchhalterung.

Um ein zuverlässige Buch-Umblättern-Verfahren auf der Buchhalterung zu schaffen, ist es wichtig, das Buch optimal auf der Halterung abzulegen. Wegen der relativen Position zwischen dem Roboter und der Buchhalterung konnte das Buch nicht immer optimal abgelegt werden, da Bewegungsbereich des Roboterarms eingeschränkt ist. Eine Korrektur des abgelegten Buchs ist deswegen erforderlich. Dafür wurde ein Robustes Kamera-basiertes Buchablage- System entwickelt.



Abbildung 4.26: Die neue Buchhalterung, Mechanik Teile (wie der Trum) sind aus Kunststoff gedruckt.

Der Roboter legt zuerst das Buch auf der Halterung ab. Das entwickelte Kamera-basierte System erkennt mittels der über der Buchhalterung angebrachten Kamera die Position und die Orientierung des Buchs auf der Halterung (siehe Abbildung 4.26). Das System dann entscheidet, ob eine Korrektur des Buchs notwendig ist. Falls nötig, greift der Roboter wieder das Buch und korrigiert die Position des Buchs auf der Halterung (siehe Abbildung 4.27).



Abbildung 4.27: Buch Ablage auf der Halterung mit Korrektur Verfahren.

Das entwickelten Kamera-basierte Buch Ablage System Spielt eine wichtige Rolle in der Automatisierung der Buchhalterung. Bildverarbeitungs-Algorithmen sind entwickelt, so dass die

Position und die Orientierung des Buchs auf der Halterung robust erkannt werden können (siehe Abbildung 4.28). Gemäß der Position, Orientierung und Größe des Buchs, entscheidet sich das System für den besten Korrekturverlauf. Der Roboter greift das Buch am berechneten Greifpunkt und korrigiert die Position des Buchs.



Abbildung 4.28: Buch Erkennung auf der Halterung.

Teilszenario 3: Katalogisierung

Mit der am IAT entwickelten Buchumblätterhilfe (siehe Abschnitt 4.29) wird das Buch aufgeklappt und einzelne Seiten umgeblättert. Über eine Benutzerinteraktion (siehe Abbildung 4.29) kann der Nutzer das System auffordern solange eine Seite vor oder zurück zu blättern bis das Buch bei den Buchinformationen aufgeschlagen ist, so dass er die Daten lesen und in die Bibliothekssoftware mittels Sprachsoftware eingeben kann (siehe Abbildung 4.30).

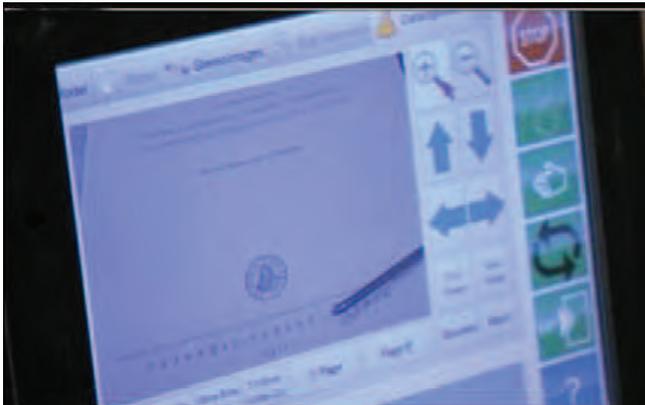


Abbildung 4.29: Anzeigen der aktuellen Buchseite dem Benutzer im Human-Machine-Interface (HMI).

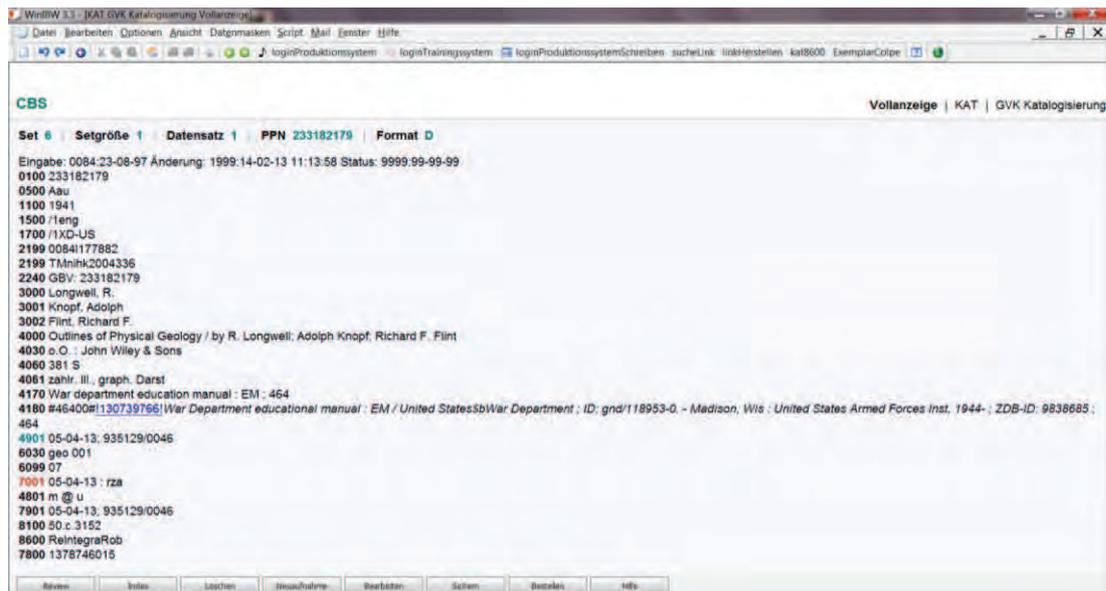


Abbildung 4.30: Eingabemaske der Bibliothekssoftware.

Teilszenario 4: Buch von der Buchhalterung nehmen

Um das Buch nach der Katalogisierung zu schließen, wurden verschiedene Ansätze ausprobiert. Am einfachsten und schnellsten hat es sich erwiesen, dass direkt mit dem Roboterarm zu machen, der dann unter den Buchdeckel fährt und ihn nach rechts auf das Buch klappt. Dafür wurden neue Bewegungsprofile entwickelt und erfolgreich getestet.

Teilszenario 5: Buch auf Bücherwagen ablegen

In diesem Teilszenario wird das Buch auf die zweite Etage des Bücherwagens abgestellt (siehe Abbildung 4.31). Der Nutzer kann nun über Teilszenario 1 die Katalogisierung des nächsten Buches starten.

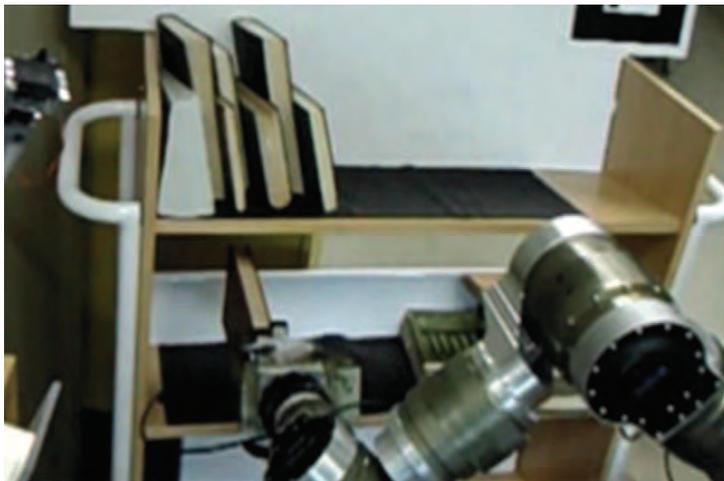


Abbildung 4.31: Zurückstellen des Buches auf den Bücherwagen.

Zusammengefasst ergibt sich für die einzelnen Szenarien:

Buch vom Bücherwagen nehmen (Teilszenario 1)

1. Kalibrierung
2. Bücherwagen erkennen

3. Buchhalterung erkennen
4. Roboterarm vor Bücherwagen bewegen
5. Nächstes Buch erkennen
6. Buch mit Hilfe der Handkamera greifen
7. Buch herunternehmen

Buch auf Buchhalterung ablegen (Teilszenario 2)

1. Buchgröße erkennen
2. Roboterarm bewegen und Buch ablegen
3. Korrektur der Buchposition auf der Buchhalterung

Katalogisierung (Teilszenario 3)

1. Buch öffnen
2. Roboterarm bewegen und Buchseite über Handkamera anzeigen
3. Katalogisierung, ggf. Umblättern

Buch von Buchhalterung nehmen (Teilszenario 4)

1. Roboterarm bewegen und Buch schließen
2. Buch greifen und herunternehmen

Buch auf Bücherwagen ablegen (Teilszenario 5)

1. Buchgröße erkennen
2. Roboterarm bewegen und Buchauf zweite Ebene ablegen

4.4. Auswahl der Nutzerin und Anpassung des FRIEND Systems

Frau Lena Kredel konnte als Nutzerin für das FRIEND –System gewonnen werden. Sie ist aufgrund von Multipler Sklerose (MS, seit 1988) halsabwärts gelähmt, womit sie die nötigen körperlichen Beeinträchtigungen mitbrachte um auf den Assistenzroboter FRIEND angewiesen zu sein. Ein bibliothekarischer Hintergrund wie von der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen (SuUB) gewünscht, war allerdings nicht vorhanden. Dies stellte aber kein Hindernis dar. Ihre Einstellung hatte sich aufgrund bürokratischer Hürden und gesetzlicher Rahmenbedingungen verzögert und war erst zum 01. Juni 2011 möglich.¹ Da Frau Kredel nicht den Anforderungen der ursprünglichen Stellenausschreibung entsprach („querschnittsgelähmte Bibliothekarin“) und über keine Vorkenntnisse im Bereich der Katalogisierung verfügte, hatte sich die Bibliothek (SuUB) bereit erklärt, ihr auch entsprechende Kenntnisse zu vermitteln. Das war in ihren ersten Arbeitsmonaten ihre Hauptarbeit, die parallel zur Anpassungsentwicklung des FRIEND durchgeführt wurde. Sie wurde in CBS, dem Produktivsystem des Gemeinsamen Bibliothekverbunds GBV angelernt, d.h. sie arbeitete sofort mit echten Daten. Sie erstellte anfangs noch nicht eigenständig neue Datensätze (sogenannte Autopsie), sondern hängte an vorhandene Datensätze Lokal- und Exemplardaten an. Sie beurteilte die Qualität der angebotenen Datensätze und wählte den korrekten Datensatz selbständig aus und erkannte Titel mit hohem Schwierigkeitsgrad, die sie zu dieser Zeit noch nicht bearbeiten konnte. Damit war Sie bereits nach wenigen Monaten Einarbeitungs- und Übungszeit für die Formalerschließung, so wie von Seiten der Bibliothek im Kontext des Projekts geplant, grundsätzlich praktisch einsetzbar. Die Fähigkeiten entsprechen dem, was man von einer Bibliotheksassistentin bzw. einer Fachangestellten

¹ Diese Verzögerungen ergaben sich, obwohl alle involvierten Ämter und MitarbeiterInnen äußerst hilfreich waren und versuchten alle Hindernisse möglichst schnell aus dem Weg zu räumen.

für Medien und Information (FAMI, mittlerer Dienst) erwarten kann. Laut Bibliothek besteht in der Praxis über 90% der sogenannten Retrokatalogisierung von Altbeständen darin, den korrekten Datensatz zu finden und zuzuordnen - nur ein kleiner Teil der vorhandenen Aufnahmen muss neu erstellt oder korrigiert werden. Im Laufe ihrer Arbeit mit FRIEND und der Retrokatalogisierung wurde Frau Kredel immer geübter und konnte schließlich ihre Arbeit ohne Hilfe von Bibliotheksmitarbeitern durchführen.

Um ein bequemes Sitzen in FRIEND auch über längere Zeit zu gewährleisten, musste der Rollstuhl an die körperlichen Behinderungen von Frau Kredel angepasst werden. Dazu wurden entsprechende Ersatzteile beim Rollstuhlhersteller angefordert. Die angefallenen Kosten wurden von der Bundesagentur für Arbeit auf Antrag hin vollständig übernommen. Der Einbau erfolgte durch Mitarbeiter des IAT. In erster Linie waren Seitenstützen (Rumpfpelotten) notwendig um den Oberkörper zu fixieren. Nach der Montage wurden mit Frau Kredel Sitzproben in FRIEND vorgenommen und die variablen Teile des Rollstuhls (Rumpfpelotten, Armlehnen, Kniestütze) an ihre Bedürfnisse angepasst. Dabei stellte sich außerdem heraus, dass die Kinnsteuerung wie sie zur Zeit am FRIEND vorhanden ist nur schwerlich zu bedienen ist, da die Knöpfe/Taster für einen Mausklick oder zum Wegschwenken des Kinnjoysticks nicht erreicht werden können. Daher wurde die Kinnsteuerung angepasst. Dafür wurde ein zusätzliches Bedienfeld mit drei Knöpfen entwickelt und am Kopf angebracht. So kann sie mit einer Kopfbewegung den Kinnjoystick wegklappen (Kopfbewegung nach links), einen Mausklick ausführen (vorne) und den Not-Aus betätigen (rechts). Insbesondere letzteres ist aus Gründen der Sicherheit zwingend erforderlich. Bei Drücken des Knopfes wird die Stromzufuhr für den Roboterarm sofort unterbrochen und der Arm stoppt augenblicklich. Die entwickelte Kopfsteuerung mit drei Knöpfen hat sich im Rahmen der Tests als sehr gut für die Nutzerin erwiesen und sie kommt gut damit zu Recht (siehe Abbildung 4.32)

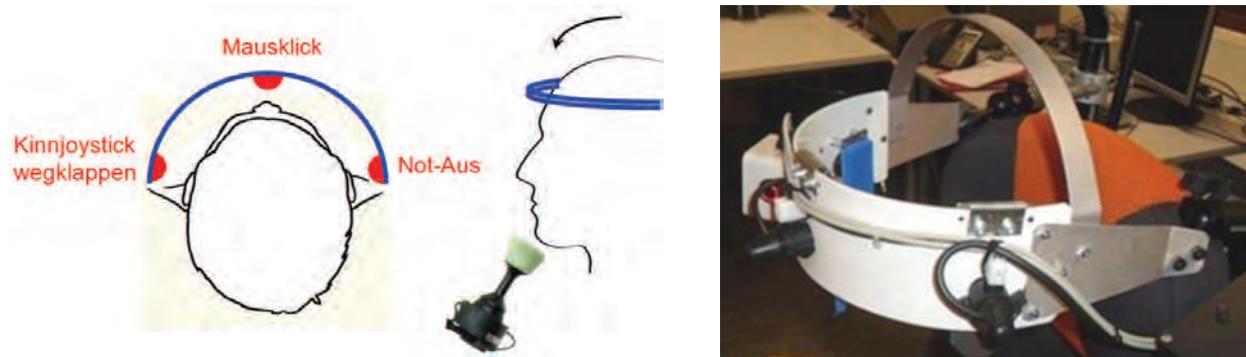


Abbildung 4.32 Entwickelte Kopfsteuerung für Frau Kredel.

Frau Kredel wird FRIEND mit Hilfe des am System integrierten Kinnjoysticks bedienen. Die möglichen Aufgaben, die FRIEND ausführen kann, werden dem Nutzer über die Mensch-Maschine-Schnittstelle auf dem Monitor am System gezeigt. Die Steuerung des Kinnjoysticks wurde so modifiziert, dass der Nutzer damit wahlweise sowohl den Rollstuhl selbst als auch den Mauszeiger auf dem Monitor bewegen kann, so dass die gewünschte Aufgabe z.B. „Hole Buch vom Bücherwagen“ ausgewählt werden kann.

Da das Umsetzen von Frau Kredel von ihrem Rollstuhl in den FRIEND für manche Assistentinnen von Frau Kredel sehr schwierig ist und nicht von allen Betreuungspersonen ausgeführt werden kann, wurde überlegt dafür einen Lifter zu verwenden. Die Verwendung vereinfacht das Umsetzen erheblich und es konnte nach einigem Üben von einer Betreuungsperson allein durchgeführt werden.

4.5. Konzeption und Realisierung der Benutzerschnittstelle

Die Steuerung des FRIEND und die Auswahl der Szenarien erfolgt über die bereits bestehende Benutzerschnittstelle. Als Eingabegerät wird der Kinnjoystick des Rollstuhls verwendet. Es hatte sich herausgestellt, dass die vorhandene graphische Benutzerschnittstelle an vielen Stellen für Frau Kredel noch nicht geeignet und wenig bedienerfreundlich war. In Rücksprache mit ihr wurde an vielen Stellen umfangreiche Änderungen vorgenommen, z.B.:

- eine größere Schrift,
- größere Auswahlbuttons, so dass diese leichter mit Hilfe des Kinnjoysticks angesteuert und betätigt werden können,
- größerer, leichter (wieder) zu findender Mauscursor,
- eine einfachere, intuitivere direkte Steuerungsmöglichkeit des Roboterarmes, in der auch zur Hilfe das aktuelle Bild der Handkamera mit angezeigt wird,
- zusätzliche Infomeldungen an den Nutzer über aufgetretenen Fehler (z.B. Objekt nicht erkannt oder Kollision), so dass dieser weiß, was schief gelaufen ist und darauf entsprechend reagieren kann,
- Option der manuellen Robotersteuerung, wenn z.B. ein Buch falsch gegriffen wird.

Über die Benutzerschnittstelle wird permanent überprüft, ob die komplette Steuersoftware noch läuft oder ein Programm aus einem unvorhergesehenen Grund abgestürzt ist. Der Benutzer wird darüber sofort informiert und er hat die Möglichkeit diese selbst neu zu starten. Es muss also kein Fachpersonal vor Ort sein. Außerdem wurde an vielen Stellen die Menüführung vereinfacht, so dass die notwendigen Aktionen mit deutlich weniger Mausbewegungen und Mausklicks zu erreichen sind.

Der Nutzer kann über die Benutzerschnittstelle alle Teile des Szenarios in gewünschter Form starten und bei Bedarf auch wieder stoppen. Die Benutzerschnittstelle wurde weiter erweitert, um der Nutzerin zusätzliche Informationen bereit zu stellen. So kann sie sich jetzt das Modell der Umgebung ansehen, dass der Computer sich aus den Informationen der Kameras aufbaut und überprüfen, ob alles richtig „gesehen“ wurde. Auch hilft es beim Auftreten von Fehlern, diese einzugrenzen und zu entscheiden, was als nächstes zu tun ist. Bei der Roboterbewegung werden in der Benutzerschnittstelle zusätzlich Live-Videos der Handkamera angezeigt, die es der Nutzerin ermöglichen schneller festzustellen, ob alles korrekt verläuft und die Bücher richtig gegriffen werden. Denn oftmals ist die direkte Sicht der Nutzerin auf den Greifer aufgrund der Stellung der einzelnen Gelenke des Roboterarms verdeckt. Der Benutzer kann über ein weiteres Menü auch die Buchumblätterhilfe steuern, d.h. ein Buch aufschlagen oder Seiten umblättern. In Abbildung bis Abbildung 4.33 sind exemplarisch ein paar verschiedene Menüs der Benutzerschnittstelle (HMI) dargestellt. Faktisch kann der Benutzer zu jeder Zeit über die Benutzerschnittstelle Einfluss nehmen auf die automatische Ausführung des aktuellen Szenarios und alles auch selbstständig durchführen. Somit hat der Benutzer zu jeder Zeit die volle Kontrolle über das System.

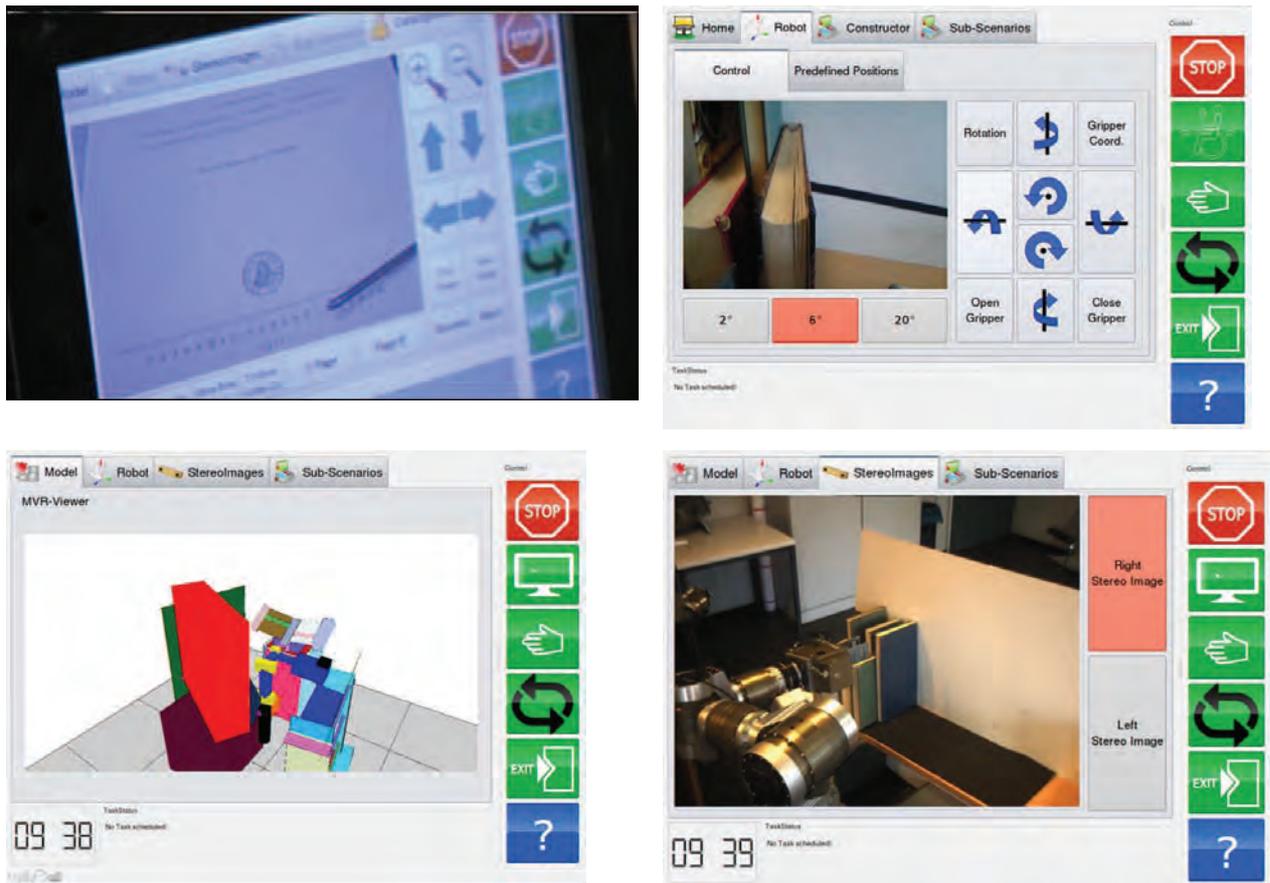


Abbildung 4.33 Verschiedene Ansichten der Benutzerschnittstelle: Menü für die Katalogisierung (oben links), Menü für die manuelle Robotersteuerung (oben rechts), Ansicht des 3D Modells (unten links) und Abfrage der Kamerabilder (unten rechts)..

4.6. Aufbau einer Buchumblätterhilfe

Zum Testen verschiedener Funktionsprinzipien wurde erst ein Prototyp aus Pappe konstruiert und ausreichend getestet und in seinem Grundaufbau für unsere Anforderungen als ausreichend empfunden. Basierend darauf wurden Überlegungen für eine stabile Buchhalterung aus Metall angestellt, die dann mit Hilfe von Motoren in der Lage sein soll auch das Buch auf- bzw. zuzuklappen. Die Bedienung der Buchhalterung soll vom FRIEND aus erfolgen. Ein Überblick über das Funktionsprinzip ist in Abbildung 4.34 dargestellt. Die erste Idee war dafür die vorhandene Infrarot-Schnittstelle zu nutzen, die bereits zur Kommunikation mit Kühlschrank und Mikrowelle im vorherigen Forschungsprojekt Amarob genutzt wurde. Nach Kontakt mit dem damaligen Projektpartner und Hersteller stellte sich aber heraus, dass diese nur eine Kommunikation in eine Richtung zur Verfügung stellt, so dass zwar Daten gesendet werden, aber keine Informationen abgefragt werden können. Da das aus mehreren Gründen, insbesondere aufgrund der Sicherheit, für diese Anwendung nicht ausreichte, wurde beschlossen auf eine Funkkommunikation umzusteigen. Die elektronischen Einheiten, genannt XBees, wurden integriert und auch erfolgreich getestet, so dass ein Datenaustausch möglich ist. Das Umblättern der Seiten erfolgt mit Hilfe von Unterdruck. Es hat sich gezeigt, dass kleinere Sauger deutlich effektiver sind und auch in der Lage sind für verschiedene Papierarten sowohl die Buchseiten als auch die Buchdeckel anzusaugen und anzuheben. Außerdem wurde eine Druckregelung hinzugefügt, um die Größe des Unterdrucks variieren und steuern zu können.

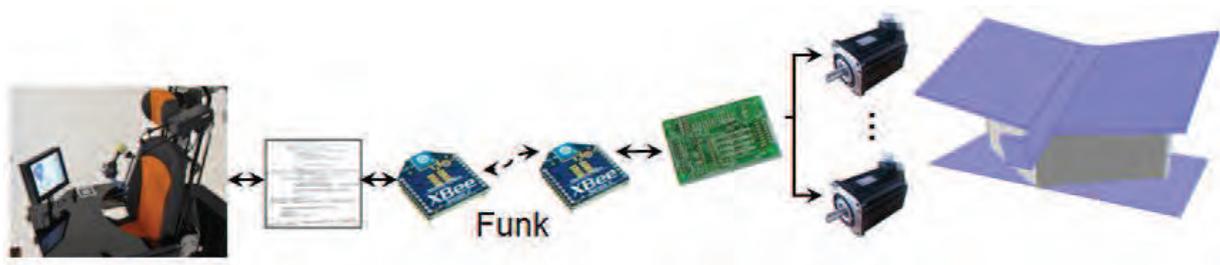


Abbildung 4.34 Überblick über die Steuerung der Buchhalterung mittels Funk vom FRIEND-System auf.

Die aktuell aufgeschlagene Seite des auf der Buchhalterung abgelegten Buches wird über die Buchhalterungskamera für Frau Kredel auf ihrem Rechner angezeigt werden (siehe Abbildung 4.26, oben links).

Die erste Version der Buchablage inklusive automatischer Funktionalität zum Aufblättern der Bücher mittels Unterdruck war bereits im November 2012 fertig gestellt und voll funktionsfähig. Sie wurde bereits mit diversen Büchern erfolgreich getestet. Die Druckluft hat sich zum Öffnen der Buchdeckel als optimal erwiesen und funktionierte einwandfrei. Beim Umblättern der Buchseiten muss der Druck etwas verringert werden, da ansonsten mehrere Seiten gleichzeitig angesaugt werden. Hierfür wurde eine automatische Druckregelung integriert. Gesteuert wird die Buchhalterung per Funk vom FRIEND aus. Dafür wurde die Benutzerschnittstelle des FRIEND so angepasst, dass Kommandos wie „Öffne das Buch“ ausgeführt werden können, aus denen dann automatisch eine Sequenz von Kommandos generiert wird, um die Motoren der Buchhalterung wie gewünscht zu bewegen und den Buchdeckel zu öffnen bzw. eine Seite umzublättern (siehe Abbildung 4.35). Der gesamte Ablauf ist aufgrund der Bauweise und technischer Beschränkungen der Motoren teils noch sehr langsam.

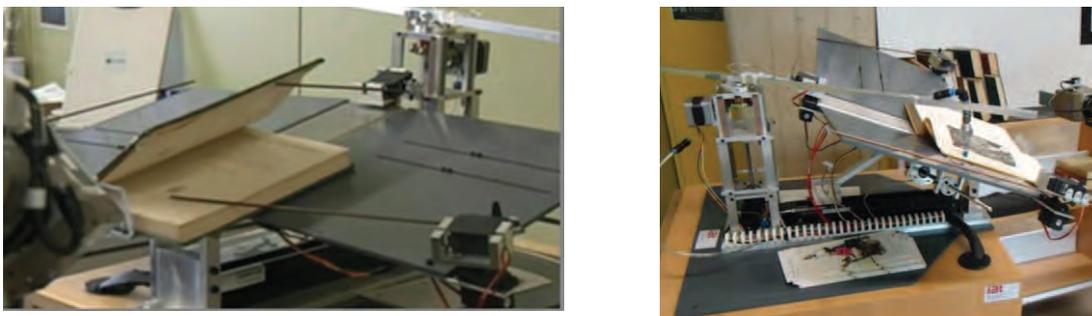


Abbildung 4.35 Aufklappen des Buches (links) und Umblättern einer Seite (rechts).

Damit nach dem Öffnen des Buches die Seiten von der Nutzerin gelesen werden können, wird diese mit Hilfe der Handkamera (montiert auf dem Greifer) auf dem Bildschirm des FRIEND angezeigt (siehe Abbildung 4.18 und Abbildung 4.29). Der Roboterarm bewegt sich vor die Buchhalterung, so dass das Buch im Blickfeld der Kamera ist. Dieses Konzept erlaubt es der Nutzerin außerdem den Roboterarm weiter zu steuern, um die gesamte Seite lesen zu können, z.B. Roboterarm nach unten oder links bewegen. Außerdem ermöglicht eine Zoom-Funktion ein beliebiges Vergrößern der angezeigten Seite, so dass auch kleine Schriften problemlos erkannt und gelesen werden können.

Intensive Tests haben gezeigt, dass der erste Prototyp der Buchhalterung aufgrund der Bauweise und technischen Beschränkungen noch ein paar Schwachstellen aufweist:

- Der gesamte Ablauf ist noch sehr langsam.

- Nur Bücher bis 4cm Dicke können auf- und umgeblättert werden, da der Saugarm aufgrund mechanischer Beschränkungen nicht höher gefahren werden kann.
- Besonders Bücher, die neu eingebunden worden sind, haben eine sehr starre Verbindung zwischen Buchdeckel und den nachfolgenden Seiten. Zurzeit kann mit den aktuellen Motoren nicht genügend Kraft aufgebracht werden, um das Auf- bzw. Umblättern bei solchen Büchern zu gewährleisten.
- Buch kann auf der Buchhalterung schief abgelegt worden sein. Dies macht mitunter ein Auf- bzw. Umblättern schwierig, wenn nicht sogar unmöglich.

Die aufgelisteten Schwachstellen erforderten einen Redesign und Neubau einiger Komponenten der aktuellen Buchhalterung. Um die Arbeitsweise von Frau Kredel in der Bibliothek und im Labor durch diese Aktionen nicht zu beeinträchtigen, wurde ein zweiter Prototyp entworfen. Dieser erhielt folgende Verbesserungen:

- Einsatz stärkerer Servo-Motoren, um auch in der Lage zu sein, Bücher mit starrer Bindung zu öffnen.
- Der Turm mit dem Saugarm wurde auf die Buchhalterung selbst verlagert, um zum Einen ein zeitintensives Hoch- und Herunterfahren dieser zu vermeiden und um in der Lage zu sein dickere Bücher aufzublättern.
- Die Mechanik Bauteile (wie der Turm und die Gehäuse der Motoren) sind aus Kunststoff gedruckt (3D Drucker Technologie), damit Schnellere Entwicklungsphase und neues ästhetisches Design zu schaffen (siehe Abbildung 2.26).
- Komplette Software zur Steuerung der Buchhalterung wird vom FRIEND-System auf die Buchhalterung selbst verbessert, um ein zeitaufwendiges Senden der Steuerungsbefehle für die zahlreichen Servomotoren zu vermeiden. Dann müssen nur noch einzelne Kommandos wie z.B. „Buch öffnen“ und „Seite umblättern“ geschickt werden. Dieser Schritt erhöht die Autonomie und Zuverlässigkeit der Buchhalterung erhöhen.
- Über der Buchhalterung wird eine zusätzliche hochauflösende Kamera montiert werden. Diese hat zwei Aufgaben.
 - Zum Einen soll diese, anstatt der bisher genutzten Handkamera, die Buchseite aufnehmen. Aufgrund ihrer höheren Auflösung und des besseren Blickwinkel auf das zu katalogisierende Buch, kann die Buchseite Frau Kredel in einer besseren Bildqualität angezeigt werden. Dies erhöht die Benutzerfreundlichkeit und erleichtert das Lesen z.B. von kleinerer oder verschnörkelter Schrift.
 - Zum Anderen soll mittels dieser Kamera bestimmt werden, wie das Buch auf der Buchhalterung liegt, um hierüber dessen Position korrigieren zu können.

Überdimensionierte Bücher, die größer als DIN A4 sind, kamen bis jetzt sehr selten vor und werden von Frau Kredel ohne das FRIEND-System zu nutzen katalogisiert. Diese Dimensionen können von der ersten Version der Buchhalterung nicht verarbeitet werden. Es ist auch nicht das Ziel diese Überdimensionen mit dem zweiten Prototyp der Buchhalterung verarbeiten zu können.

4.7. Aufbau und Anpassung des zweiten Demonstrators (FRIEND System)

Auf dem zweiten am IAT vorhandenen FRIEND-System wurde ein aktuelles Betriebssystem installiert, um FRIEND den Weg in die Zukunft zu ebnen. Auf diese Weise können Technologien bzw. Hardwarekomponenten, die auf den neuesten Stand der Technik sind, erforscht und entwickelt

werden, ohne das, dass von Frau Kredel für ihre Arbeit benutze FRIEND-System, benötigt wird. Die komplette FRIEND-Software wurde auf diesen zweiten Demonstrator installiert und eingerichtet. Dazu mussten Teile der Software angepasst werden, um mit dem neuesten Betriebssystem kompatibel zu sein. Alle Softwarekomponenten wurden bereits erfolgreich getestet. Ein neues Greifermodul mit Greifbacken wurde bereits gekauft und integriert. Außerdem wurden ein zweiter Bücherwagen, eine neue Handkamera und ein Kinect-Sensor ebenfalls für dieses System angeschafft und integriert, so dass dieses System vollständig nutzbar für die weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist.

Um die Nutzung des FRIEND Systems zu erweitern, ist der zweite Demonstrator umgebaut, so dass der Robotarm aus dem Rollstuhl auf einem Tisch montiert. Das Ziel des Umbaus ist es, die Zielgruppe zu erweitern. Diese Trennung hat viele Vorteile: es erfolgt kein Rollstuhl wechseln und deswegen braucht man keinen elektrischen Hebezug (Platz sparen).

Der neue Arbeitsplatz ist in der Abbildung 4.36 gezeigt.

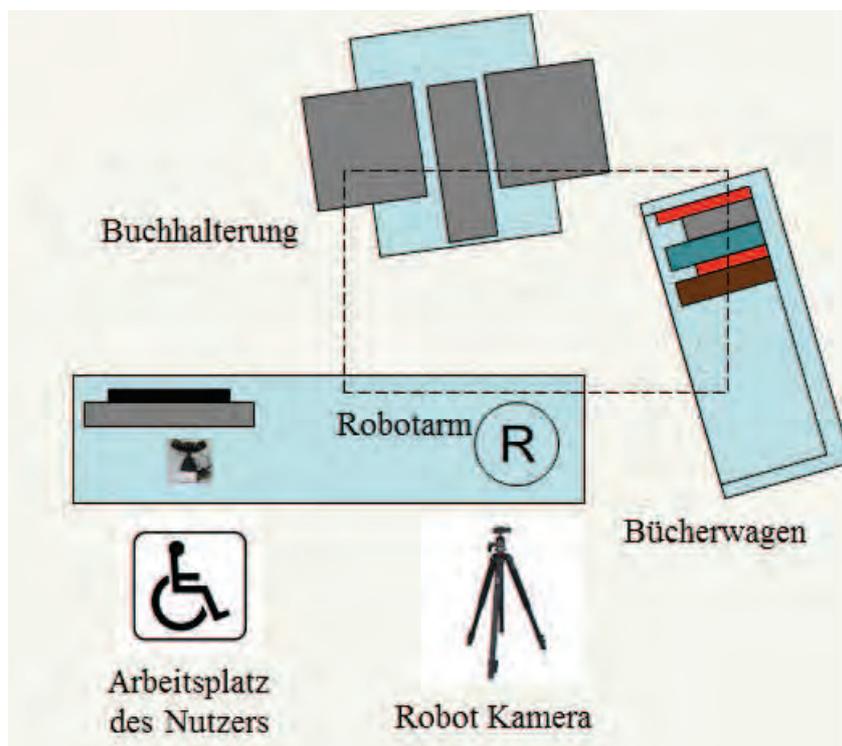


Abbildung 4.36 Aufklappen des Buches (links) und Umblättern einer Seite (rechts).

4.8. Test und Langzeitnachweis der Funktionalität

Seit dem Herbst 2011 werden regelmäßige Tests des FRIEND Systems mit Lena Kredel durchgeführt. Bis zu vier Testtage pro Woche fanden statt. Durch die zahlreichen Tests werden die nötigen Hilfestellungen seitens der IAT-Ingenieure immer weniger. Auch das Hineinsetzen in den FRIEND durch das Betreuungspersonal klappt immer besser. Frau Kredel konnte nach kurzer Zeit die realisierten Teilszenarien über die Benutzerschnittstelle starten, unterbrechen oder stoppen. Außerdem ist Sie in der Lage Rückfragen des Systems (z.B. bei fehlerhafter Erkennung durch die Bildverarbeitung) richtig zu interpretieren und entsprechen daraus zu reagieren, so dass dann die autonome Ausführung fortgesetzt werden kann.

In den letzten Monaten haben die Ingenieure und Studenten des IATs die Tests in der Bibliothek intensiv begleitet. Jeder Test wurde intensiv beobachtet, protokolliert und analysiert, um

Unzulänglichkeiten, Schwachstellen und Fehler im System aufzuspüren. Diese wurden genutzt, um die einzelnen Algorithmen zu optimieren. Änderungen in den Lichtverhältnissen, kommend z.B. von der großen Fensterfront in der Bibliothek, stellen für die Bildverarbeitung mitunter eine große Herausforderung dar. Besonders wenn der Abstand zum Nachbarbuch sehr klein ist (in jeder Dimension) bedeutet es für die Bildverarbeitung die erforderliche Genauigkeit bereitzustellen, dass die Bücher und deren Position auf dem Bücherwagen bis auf wenige Millimeter genau erkannt werden müssen. Ansonsten würde der Roboterarm beim Greifen der Bücher mit dem eignen oder dem Nachbarbuch kollidieren. Die Software wurde diesbezüglich optimiert, um diese Beleuchtungsschwankungen so weit wie möglich zu filtern. Als Folge funktioniert das Greifen der Bücher auf dem Bücherwagen (aus Bildverarbeitungssicht der schwierigste Teil des ganzen Ablaufs) deutlich robuster, auch für schmalere Bücher.

Die durchschnittliche Erfolgsrate für autonome Handlungen betrug 85 %. 15 % aller Testfälle konnten nicht erfolgreich beendet werden. Hier wurde ein Eingriff der Nutzerin notwendig. Durch den Eingriff der Nutzerin konnte die Erfolgsrate auf 97 % erhöht werden. Dazu musste die Nutzerin über die Menschmaschineschnittstelle eingreifen und zum Beispiel die Roboterposition korrigieren und dann wieder in autonomen Modus schalten. Diese Fehler ergaben sich durch physikalische Begrenzungen des Roboterarms die dazu führen das die Zielkoordinaten nicht erreicht werden konnten oder auch in wenigen Fällen durch Fehler in den programmierten Algorithmen. In 3 % aller Fälle war die Fehlerbehandlung so kompliziert das auch durch den Eingriff der Nutzerin kein Erfolg sichergestellt werden konnte. Es war ein Eingriff der Ingenieure erforderlich oder der gesamte Vorgang musste neu gestartet werden.

Besonders intensiv wurden die Bildverarbeitungsalgorithmen für die Bucherkennung analysiert, da diese einen häufigen und abgestellt darstellen. Es zeigt sich, dass die technische Bildverarbeitung noch sehr weit von den Möglichkeiten der natürlichen Bildverarbeitung in Lebewesen entfernt ist. Die Abbildung 4.37 zeigt den Fehler der Stereokamera-basierten Bildsverarbeitung Algorithmen (Orange) und der Handkamera-basierten Bildverarbeitung Algorithmen (Grau). Idealerweise sollte der Fehler Null sein.

Den Fehler der Stereokamera-basierte Algorithmen ist zu groß, zuverlässiges Buchgreifen-Verfahren zu ermöglichen. Jedoch ermöglicht die entwickelten Handkamera-basierte Algorithmen den Fehler zu verringern und das Buch zuverlässig zu greifen.

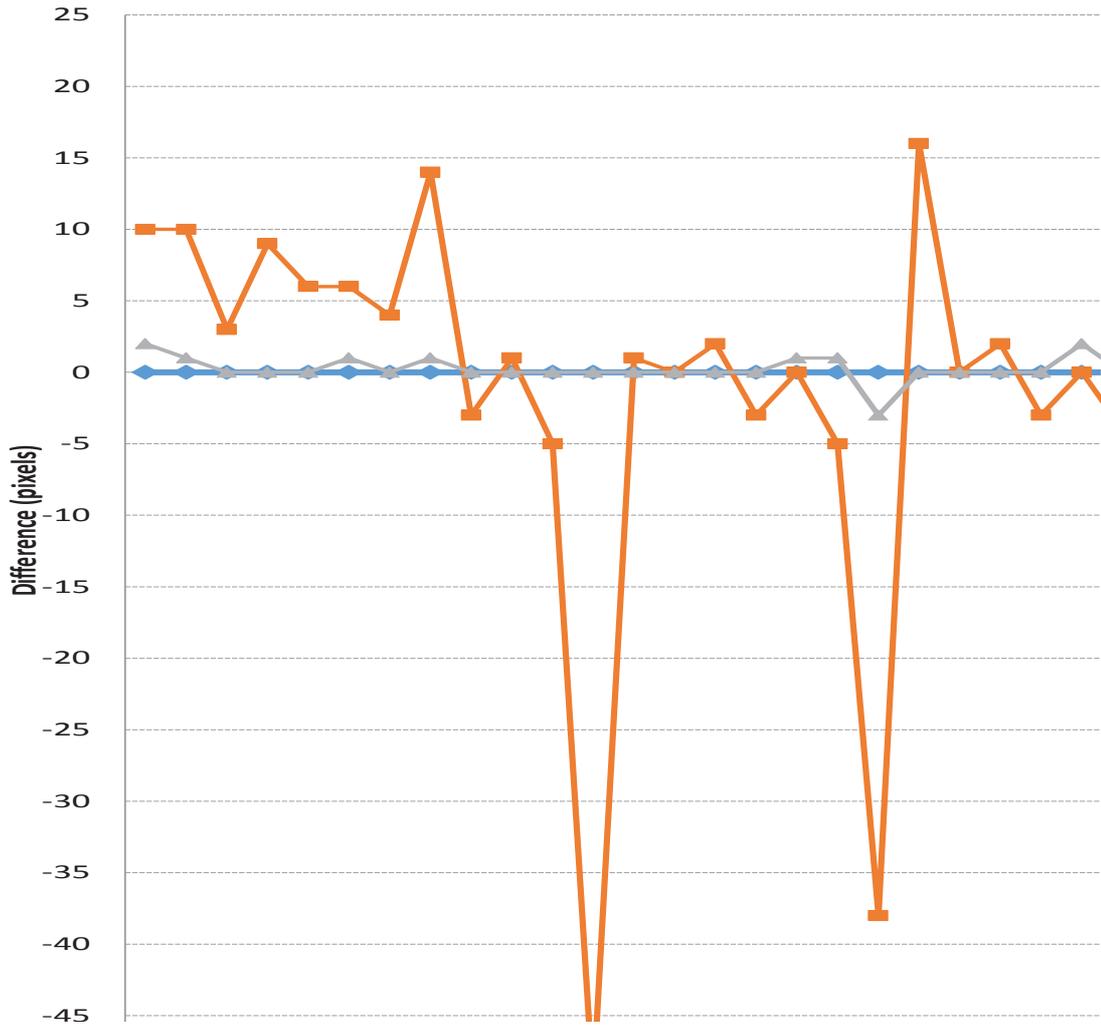


Abbildung 4.37 die Genauigkeit der entwickelten Stereokamera-basierten Bildverarbeitung Algorithmen (Orange) und Handkamera-basierten Bildverarbeitung Algorithmen (Grau) .

5. RehaCare

Das System und der gesamte Arbeitsplatz wurden auf der REHACARE International 2012 in Düsseldorf (10.-13.11.2012) im „Themenpark Assistenzrobotik“ vorgestellt und erstmals im großen Rahmen der Öffentlichkeit präsentiert (siehe Abbildung 4.34). Der Messeauftritt war ein voller Erfolg und es gab viel Lob und positive Rückmeldungen. Die Nutzerin war jeden Tag auf der Messe anwesend und hat das System mehrere Stunden am Tag vorgeführt und durch Interviews ihre Erfahrungen wiedergegeben. Das System sowie die Buchhalterung (erste Version) haben zur vollsten Zufriedenheit funktioniert, abgesehen von den obigen Unzulänglichkeiten. Auch die Algorithmen zur Erkennung (Bildverarbeitung) und Bewegungsplanung kamen mit den veränderten Messe-Bedingungen gut zurecht. Medienreaktionen sind auf der Projektwebseite unter www.friend4you.eu oder im Anhang zu finden.



Abbildung 5.1 Messeauftritt auf der RehaCare



6. Feedback der Nutzerin

Im Folgenden berichtet die Nutzerin Frau Lena Kredel über ihre Arbeit mit dem Assistenzroboter FRIEND:

„Jetzt arbeite ich schon über drei Jahre in dem Projekt "ReIntegraRob", es macht mir nach wie vor großen Spaß und ist wirklich interessant. Ich lerne nicht nur viele Dinge aus dem Bibliothekswesen, der Retrokatalogisierung und der Recherche kennen. Auch Ingenieurwissenschaft und Mathematik, Bereiche, mit denen sich meine Kollegen hier am Institut hauptsächlich beschäftigen, werden mir nahe gebracht. Außerdem erfahre und erlebe ich hier ein gutes, kollegiales Zusammenarbeiten.

Als ich den Roboter zum ersten Mal sah war ich absolut beeindruckt und auch etwas verschüchtert: so ein Riesenmonster! Es wurde mir von vielen Seiten versichert, dass der Elektrorollstuhl – um so einen handelt es sich ja bei dem FRIEND - nicht nur körperlich, sondern auch meinen Einschränkungen gemäß angepasst werden würde. Dies geschah in kürzester Zeit. Da ich bis zum Hals bewegungslos bin musste vieles erdacht werden, dass mir trotz meiner körperlichen Einschränkungen einen „schnellen Mausklick“, das Heranholen des Joysticks zum Fahren des Rollstuhls oder des Navigierens in der Benutzeroberfläche und im Notfall auch das Abschalten des ganzen Systems ermöglicht.

Anfangs war das natürlich alles sehr aufregend, spannend und auch ein bisschen stressig, da ich mich doch oft "verklickt" habe, was aber immer alle sehr lustig fanden – wir haben viel gelacht ... Inzwischen habe ich mich sehr an den Roboter und die ganze Vorgehensweise gewöhnt, kann mögliche Fehler, die das System machen könnte, erkennen und fühle mich sehr souverän im Umgang mit dem Roboter: Wir sprechen inzwischen dieselbe Sprache.

Mit meinen Kollegen geht es mir ebenso. Jedes Mal wenn ich Schwierigkeiten habe oder ein Problem in der Bedienung des Roboters sehe, erdenken sie sich häufig verschiedene Möglichkeiten, um diese Probleme zu beheben. Die erdachten und erarbeiteten Lösungen sind sehr vielfältig, ich bin wirklich immer wieder begeistert von dem Ideenreichtum der Mitarbeiter.

Es wird viel dafür getan, dass ich es im Umgang mit dem Roboter einfacher habe. Dies ermöglicht mir insgesamt eine absolute Unabhängigkeit von Arbeitsassistenz, da die Tätigkeiten vom FRIEND erledigt werden.“

7. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war der Nachweis, dass schwer behinderte Personen mithilfe des Serviceroboters FRIEND in das Berufsleben zurückkehren können. Als umfangreich erwies sich die Suche nach einer geeigneten Bewerberinnen oder einem geeigneten Bewerber. Für dieses Projekt wurde nicht nur einfach eine Personen mit Behinderungen gesucht sondern eine Person mit einer hohen Querschnittslähmung. Außerdem musste die Personen eine für den Arbeitsplatz passende Ausbildung haben. Diese parallel durchgeführte Suche erwies sich als schwierig und zeitaufwändig. Schließlich konnte als behinderte Projektteilnehmerin Frau Lena Kredel gewonnen werden und mit der Universitätsbibliothek wurde eine Vereinbarung über einen Arbeitsplatz erzielt.

Die Aufgabenstellung am Arbeitsplatz besteht in der Retro-Katalogisierung von Büchern für die Universitätsbibliothek. Dazu werden Bücher aus dem Fundus der Universitätsbibliothek neu katalogisiert oder die Katalogisierung wird überprüft. Alle dazu notwendigen manuellen Tätigkeiten sollte ob fremd durchführen. Da Frau Kredel zum Antritt der Stelle nicht über die erforderliche Ausbildung als Bibliothekassistentin verfügte, hat es die Universitätsbibliothek übernommen Frau Kredel entsprechend zu schulen.

Zusätzlich war es notwendig den Roboter FRIEND weiterzuentwickeln und an die spezielle Aufgabenstellung anzupassen. Im Einzelnen waren dies bei der Hardware:

- Sicherheitskomponenten, Laserscanner und eine Überwachungseinheit (Watchdog-schaltung),
- eine Kopfsteuereinheit
- eine spezielle Einheit um die Bücher auf zu klappen und einzelne Seiten um zu blättern.

Bei der Software:

- eine spezielle Benutzerschnittstelle zur Integration der Kopfsteuereinheit
- eine spezielle Benutzerschnittstelle um Eingriffe in die autonome Steuerung zu ermöglichen
- verbesserte Bildverarbeitung Software um die Bücher besser zu erkennen
- verbesserte Algorithmen zum Greifen der Bücher
- Softwareverbesserungen zur allgemeinen Erhöhung der Verfügbarkeit des Systems.

Alle Modifikationen erwiesen sich als sehr erfolgreich, aber auch nach Abschluss des Projektes sind eine Reihe von offenen Problemen festzuhalten. Dies sind im einzelnen:

- Die Bucherkennung über Bildverarbeitung ist nicht immer zuverlässig, trotz der entwickelten fortschrittlichen Algorithmen.
- Der Benutzer hat die Möglichkeit, Fehler im Ablauf zu beheben. Die Fehlerbehandlung ist aber für den Benutzer anstrengend und manchmal kompliziert.
- Die Eingabegeräte (Kinn-Joystick und Kopfringtasten) sind für den Benutzer nach langer Arbeitszeit anstrengend.

Außerdem erwies es sich als sehr schwierig Firmen zu gewinnen die das komplette Projekt marktfähig anbieten würden. Die Finanzierung wird als sehr schwierig angesehen und dadurch das Marktvolumen sehr restriktiv eingeschätzt. Diese Erkenntnis hat zu der Einsicht geführt, dass ein neuer Vermarktungsweg ins Auge gefasst werden muss. Dieser führt über die Entwicklung neuer Technologien die aus fremd abgeleitet werden können für die Industrie zurück zu Systemen für behinderte Personen. Dazu hat das IAT zusammen mit Partnern das Projekt MeRoSy Mensch-Roboter Synergie-beantragt. Dieses Projekt wird vom BMBF gefördert und verbindet Teilprojekte für die Industrie mit einem Teilprojekt für behinderte Person basieren auf den Erkenntnissen der Forschung und Entwicklung von FRIEND. Frau Lena Kredel ist in FRIEND Projektmitarbeiterin

Alles in allem kann festgehalten werden, dass das Projekt wegen ReIntegraRob einen wichtigen Meilenstein darstellt um schwer behinderten Personen einen Einstieg ins Berufsleben zu ermöglichen und insbesondere auch die Öffentlichkeit darüber zu unterrichten und davon zu überzeugen.

8. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

8.1. Veröffentlichungen

- [1] A. Graser, T. Heyer, L. Fotoohi, U. Lange, H. Kampe, B. Enjarini, S. Heyer, C. Fragkopoulos and D. Ristic-Durrant: "A Supportive FRIEND at Work: Robotic Workplace Assistance for the Disabled"; IEEE Robotics Automation Magazine; 2013; vol.20, no.4, pp.148,159
- [2] B. Enjarini and A. Gräser: "Color-Depth-based book segmentation in library scenario for service robots"; IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC); 2014
- [3] Bashar Enjarini, "Methods and Applications on Object Segmentation for Service Robots", Doktorarbeit, Universität Bremen, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:46-00104193-12>; 2014
- [4] Christos Fragkopoulos, "Using Cartesian Space for Manipulator Motion Planning - Application in Service Robotic", Doktorarbeit, Universität Bremen, Fakultät I: Physik / Elektrotechnik. Shaker Verlag GmbH, Deutschland. (wird veröffentlicht)
- [5] Uwe Lange, Henning Kampe und Axel Gräser: "ImageNets — Framework for Fast Development of Robust and High Performance Image Processing Algorithms"; at - Automatisierungstechnik; 2013
- [6] Uwe Lange: "Entwicklung robuster Bildverarbeitungsalgorithmen für Serviceroboter mittels konfigurierbarer reaktiver Ablaufstrukturen"; Doktorarbeit, Universität Bremen; Shaker Verlag, Aachen, ISBN 978-3-8440-1868-4, 2013
- [7] Bashar Enjarini und Axel Gräser: "Planar segmentation from depth images using gradient of depth feature"; IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS); 2012
- [8] Bashar Enjarini und Axel Gräser: "Planar segmentation using Gradient of Depth feature and one possible application in service robots"; Proceedings of the 32nd-33rd Colloquium of Automation, Leer; 2012
- [9] Stefan Heyer, Christos Fragkopoulos, Torsten Heyer und Axel Gräser: "Reliable Hand Camera based Book Detection and Manipulation in Library Scenario"; in Proc. 13th IEEE Int. Conf. on Opt. of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM'12, Brasov, Rumänien; 2012
- [10] Stefan Heyer, Bashar Enjarini, Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "Book Detection and Grasping in Library Scenario"; in Proc. 7th German Conference on Robotics, München, Deutschland; 2012
- [11] Oliver Prenzel, Uwe Lange, Henning Kampe, Christian Martens, Axel Gräser: "Programming of Intelligent Service Robots with the Process Model "FRIEND::Process" and Configurable Task-Knowledge"; Robotic Systems - Applications; 2012; ISBN 978-953-307-941-7
- [12] Christos Fragkopoulos, K. Abbas , Ahmed Eldeep, Axel Gräser: "Comparison of sampling based motion planning algorithms specialized for robot manipulators"; Robotik ; 2012
- [13] Torsten Heyer und Axel Gräser: "Rückkehr in den Beruf mit Hilfe von Roboterassistenz"; 5. AAL-Kongress, Berlin, Deutschland; 2012
- [14] Leila Fotoohi: "Dependable Service Robot : from Hazard Identification to Formal Verification of Safety Requirements"; 2012; Doktorarbeit, Universität Bremen, Shaker Verlag, ISBN 978-3-8440-1435-8
- [15] Torsten Heyer und Axel Gräser: "Intelligent Object Anchoring using Relative Anchors"; OPTIM, Brasov, Rumänien; 2012
- [16] Stefan Heyer, Bashar Enjarini, Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "Book Detection and Grasping in Library Scenario"; in Proc. 7th German Conference on Robotics, München, Deutschland; 2012

- [17] Uwe Lange, Henning Kampe und Axel Gräser: "Fast Development of a Robust Calibration Method for Service Robot FRIEND using ImageNets"; Methods and Applications in Automation; 2012; pp. 25-36, Shaker Verlag, ISBN 978-3-8440-1322-1, 32nd - 33rd Colloquium of Automation, Leer, Germany, Axel Gräser / Daniela Ristic-Durrant (Ed.)
- [18] Axel Gräser, Olena Kuzmicheva, Daniela Ristić-Durrant, Saravana Natarajan und Christos Fragkopoulos: "Vision-based Control of Assistive Robot FRIEND: Practical Experiences and Design Conclusions"; at – Automatisierungstechnik; 2012; Vol. 60, Nr. 5 (2012) , pp. 297-308.
- [19] Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "Sampling Based path planning for high DoF manipulators without goal configuration "; IFAC World Congress ; 2011
- [20] Torsten Heyer und Axel Gräser: "Semi-Autonomous Initial Monitoring for Context-Aware Task Planning"; In Proc. of Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Budapest, Ungarn; 2011
- [21] Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "Dynamic efficient collision checking method of robot arm paths in configuration space"; IEEE/ASME International Conference on Advance Intelligent Mechatronics , Budapest, Ungarn, 2011
- [22] Leila Fotoohi, Axel Gräser: "Building a Safe Care-Providing Robot"; Proceedings on 12th IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics – ICORR 2011 -Zürich, Schweiz
- [23] Saravana Kumar Natarajan, Daniela Ristic-Durrant, Adrian Leu und Axel Gräser: "Robust Stereo-Vision based Modelling of Real-World Objects for Assistive Robotics Applications"; Proc. of the 2011 Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA; 2011
- [24] Leila Fotoohi, "Dependable Service Robot – from Hazard Identification to Formal Verification of Safety Requirements", Doktorarbeit, Universität Bremen; Juli 2013
- [25] Torsten Heyer, Sorin Mihai Grigorescu und Axel Gräser: "Camera Calibration for Reliable Object Manipulation in Care-Providing Robot FRIEND"; ISR/Robotik, München, 2010
- [26] Saravana Kumar Natarajan, Sorin Mihai Grigorescu, D. Mronga, Axel Gräser: "Robust Detection and 3D Reconstruction of Boundary Segmented Objects in Library Scenario"; Methods and Applications in Automation, Shaker Verlag; 2010; Vol 2, pp. 95-105
- [27] Saravana Kumar Natarajan and Axel Gräser: "3D Reconstruction of Objects from 2D Contours"; 32nd Colloquium of Automation, Leer, October; 2010; (Poster)
- [28] Sorin Mihai Grigorescu, Saravana .Kumar Natarajan, D. Mronga, Axel Gräser: "Robust Feature Extraction for 3D Reconstruction of Boundary Segmented objects in a Robotic Library Scenario "; Proc. of the 2010 Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, October; 2010
- [29] Leila Fotoohi und Axel Gräser: "A Supervisory Control Approach for Safe Behavior of Service Robot, Case Study: FRIEND"; 2010; Proceedings on 25th ACM Symposium on Applied Computing , March 22-26, 2010, Sierre, Switzerland.
- [30] Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "Extended RRT algorithm with dynamic N-dimensional cuboid domains"; IEEE Conf. OPTIM; 2010
- [31] Christos Fragkopoulos und Axel Gräser: "A RRT based path planning algorithm for Rehabilitation robots."; ISR / Robotics , München; 2010

8.2. Weitere Literaturangaben

- [32] Website der Bundesagentur für Arbeit: www.arbeitsagentur.de/nn_8148/Dienststellen/RD-N/Schwerin/AA/Buerger/Menschen-mit-Behinderung/Arbeitnehmer-Informationen-Eingliederung-Behinderter.html (17.01.2014)
- [33] ReIntegraRob-Website: www.iat.uni-bremen.de/sixcms/detail.php?id=1268 (17.01.2014)

- [34] FRIEND-Website: www.friend4you.eu (17.01.2014)
- [35] AMaRob-Website: www.amarob.de (17.01.2014)
- [36] Forschungsbericht Amarob - Autonome Manipulatorsteuerung für Rehabilitationsroboter, Institut der Automatisierungstechnik, Universität Bremen, Juli 2010
- [37] Ivlev, O., Martens, C., Gräser, A.: Rehabilitation robots FRIEND-I and FRIEND-II with the dexterous lightweight manipulator, In Restoration of Wheeled Mobility in SCI Rehabilitation, 2005
- [38] Martens, C., Prenzel, O., Gräser, A.: The Rehabilitation Robots FRIEND-I & II: Daily Life Independency through Semi-Autonomous Task-Execution, Rehabilitation Robotics, 2007, I-Tech Education Publishing, Wien, Österreich, ISBN 978-3-902613-01-1
- [39] Valbuena, D., Lüth, T., Cyriacks, M.: Control of a Semi-autonomous Rehabilitation Robotic System via BCS, in BRAINROBOT: Methods and Applications for Brain Computer Interfaces, 2010, A. Gräser and I. Volosyak, Eds. Aachen: Shaker Verlag, Kap. 15, S. 161-174
- [40] Martens, C.: Teilautonome Aufgabebearbeitung bei Rehabilitationsrobotern mit Manipulator – Konzeption und Realisierung eines softwaretechnischen und algorithmischen Rahmenwerkes, Doktorarbeit, Universität Bremen, Fachbereich 1: Physik / Elektrotechnik, Shaker Verlag GmbH, Deutschland, 2007

8.3. Diplom- und Masterarbeiten, Studentenprojekte

- Parth Panchal, Masterarbeit, “Vision Based Closed Book Position Correction on Automated Book Page Changer”, Mai 2015.
- Smaeer Naeem, Projektarbeit, „Precise Approach to Book using Hand Camera for ServiceRobot FRIEND“, Februar 2015
- Panchal, Parth Projektarbeit, „Universität Bremen, Dezember 2014
- Xingchen Wang, “Investigation of Rapidly-exploring Random Graphs (RRGs) for solving Optimization Problems in Motion Planning”, Masterarbeit, Universität Bremen, April 2013
- Zhu Zhu, “Development of Modular Framework for Facial Expression Extraction using Optical Flow Methods in ImageNets”, Masterarbeit, Universität Bremen, jan 2013
- Balazs Sikari, Master project Book Page Changer, Universität Bremen, 03.2013
- Alejandro Rus Murillo, “Automatic calibration of FRIEND’s robot arm”, Masterarbeit, Universität Bremen, June 2013
- Hao Chen, “STOMP: Stochastic Trajectory Optimization for Motion Planning”, Masterarbeit, Universität Bremen, 2013
- Quantao Yang, “Robust Measurement of Book Dimension and Grasp Position using Kinect Sensor”, Miniprojekt, Universität Bremen, 2013
- Björn Mindermann, Re-Implementierung und Optimierung der Erkennung des optischen Flusses mittels Kreuzkorrelation in ImageNets, Bachelorarbeit, Universität Bremen, Okt 2012
- Björn Wilkens, “Entwicklung von Filterungsalgorithmen für die Büchererkennung”, Universität Bremen, Jan 2012, Projektarbeit
- Jörg Ehrichs, “Gesichtserkennung auf Basis der Kinect IR-Kamera für das FRIEND System ”, Universität Bremen, Sept. 2012
- Dario Tojeiro Perez, “Disparity computation of weakly textured images using stereo segment silhouettes”, master thesis, Universität Bremen, , June 2010
- Zhu Zhu, “Development of algorithms for gripper removal and reconstruction of image information” , master project, Universität Bremen, Sept 2011

- Petro Cochon, “Robust Open Book Detection in Library Scenario”, Master thesis, Universität Bremen, June 2011
- Miriam Harter, “Error management in the FRIEND project”, Universität Bremen, 2011
- Maria Trigo Carro, “Development of a Model-Based Context-Aware Concept for Care-Providing Robot FRIEND”, Final project, Universität Bremen, Sept. 2010

8.4. Presse und Media

Diese Berichte und Filmbeiträge sind teilweise verfügbar unter www.friend4you.eu.

- Artikel zur Fachtagung Inklusion Bewirken von Caritas Berufswege Fulda, 10 Oktober 2013
- Clip bei ZDF – Volle Kanne „Fast gelähmt und trotzdem berufsfähig“ 03. Mai 2013
- Artikel in WAZ, „Die Robo-Bibliothekarin“, 28 März 2013
- Artikel von Schunk GmbH & Co KG Spann- und Greiftechnik, „Life-quality with more grip“, 14 März 2013
- Artikel in DIE WELT, „Die Robo-Bibliothekarin“, 13 März 2013
- Artikel von Schunk GmbH & Co KG Spann- und Greiftechnik, „Greifbar mehr Lebensqualität“, 25 Februar 2013
- Artikel in Assistenzrobotik | Medizin- und Labortechnik "Ein Freund fürs Berufs-Leben", Febr. 2013
- Clip bei NDR DAS, 08. Januar 2013
- Artikel“ auf chrismon.de "Roboter bitte umblättern“, Jan. 2013
- Artikel auf www.computer-automation.de (online) "Serviceroboter 'Friend' steigert Lebensqualität", 11 Januar 2013
- Radiobeitrag bei „Dradio“, Dezember 2012
- Clip bei „17:30 Sat.1 Regional“, 27. November 2012
- Artikel in Weser-Kurier „Ein Freund aus Metall“, 21. November 2012
- Artikel in der TAZ „Arm der Technik“, 07. November 2012
- Clip von dpa zum Messeauftritt auf der REHACARE International 2012 (10. - 13. Oktober 2012) in Düsseldorf
- Artikel in Bild-Online „Werden Roboter uns im Alter pflegen?“, 11. Oktober 2012
- Artikel in RP-Online „Pflegetage RehaCare gestartet“, 11. Oktober 2012
- Artikel auf RollingPlanet.com „Den legen sich Behinderte unter den Weihnachtsbaum: Ein Butler mit Akku und großen Augen“, 10. Oktober 2012
- Artikel auf B2B Nordrhein-Wesstfalen.net „Assistenzroboter für Ältere auf dem Vormarsch – Fachmesse RehaCare in Düsseldorf, 10. Oktober 2012“
- Artikel auf gute-nachrichten.com (online) „Roboter ermöglichen behinderten Menschen wieder zu arbeiten“, 09. Oktober 2012
- Artikel in Wallstreet Online „Den legen sich Behinderte unter den Weihnachtsbaum: Ein Butler mit Akku und großen Augen“, 05. Oktober 2012
- Pressemitteilung der Uni-Bremen „Assistenzroboter FRIEND ermöglicht behinderten Menschen eine Rückkehr in den Beruf, 02. Oktober 2012
- Beitrag im Deutschlandradio Kultur „25. Elektronische Welten: Assistenzroboter Friend“, 31. Juli 2012
- Artikel in: Zeitschrift der Integrationsämter ZB – Behinderte Menschen im Beruf „Lena Kredel und ihr Roboter-Assistent“, Juni 2012

- Artikel in: Deutsches Ärzteblatt „Die Roboter kommen“, April 2012
- Artikel in: Lebenshilfe – Ortsvereinigung Bremerhaven
- Artikel in: Deutsches Ärzteblatt „Die Roboter kommen“, April 2012
- Beitrag in buten und binnen Magazin | RB TV, 05. März .2012
- Artikel in : Lebenshilfe – Orstvereinigung Bremerhaven e.V. (online) „FRIEND hilft Behinderten“, 03. März 2012
- Artikel in: Wissenschaft & Forschung „Projekt Friend: Mit dem Roboter wieder arbeiten“, 02. März 2012
- Artikel in: Welt Online, „Dieser Rohstuhl denkt mit“, 01. März 2012
- Artikel im: Handelsblatt „Roboter hilft Behinderten beim Arbeiten“, 01. März 2012
- Artikel in: Krankenkassen Deutschland „Mit dem Roboter wieder arbeiten – Friend hilft Behinderten“, 29. Februar 2012
- Artikel im Weser-Kurier „Arbeitsagentur gibt Behinderten eine Chance“, 05. Dezember 2011
- Artikel im Weser-Report/ Hamme-Report „Mit Robo-Arm zur Bibliothekarin“, 12. Oktober 2011
- Bezugnahme im „Manager-Magazin“ „Was die Welt verändern wird“, 07. Juli 2011
- Artikel im Weser-Kurier „Gedanken steuern Roboter“, 06 Juli 2012
- Artikel in Achimer Kreiszeitung „Mit FRIEND zurück in den Beruf“, 26 Juni 2010

Das Projekt ReIntegraRob und das FRIEND-System wurden des Weiteren in vielen Vorträgen, Vorführungen und anderen Veranstaltungen interessierten Personen vorgestellt.

8.5. Messen

- REHACARE International 2012, Düsseldorf, Deutschland.
- SCHUNK Expert Days, 27 – 28.02.2012, Hausen, Deustchland.
- Automatica / ISR Robotik 2010 International Conference, München, Deustchland.