Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik
und Logistik

IFT

Universität Stuttgart

Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik

Institut für Fördertechnik und Logistik

Automatisierte Transportlogistik in Bibliotheken

Automated transport logistics in libraries

STUDIENARBEIT

30.09.2021

Verfasser Sijia Guo

Mat.-Nr.: 3398764

Prüfer Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Betreuer Laura Blumhardt

Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, Sijia Guo, ehrenwörtlich, dass ich entsprechend der PO Bachelor Maschinenbau § 25 Abs. 7 und der PO Master Maschinenbau § 23 Abs. 7 und § 24 Abs. 8 die vorliegende Studienarbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe. Des Weiteren war die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahren und wurde weder vollständig noch in Teilen bereits veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen anderen Exemplaren überein.“

Stuttgart, den 30.09.2021

Sijia Guo

Sijia Guo

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG ..... **II**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ..... **V**

TABELLENVERZEICHNIS ..... **VII**

SYMBOL- UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS ..... **VIII**

1 EINLEITUNG **1**

1.1 Das Thema 1
1.2 Problemstellung 1
1.3 Aufgabenstellung 2
1.4 Zielsetzung 2
1.5 Vorgehen 3

2 STAND DER TECHNIK **4**

2.1 Handbücherwagen 4
2.2 Förderbandanlagen (ohne Behälter) 5
2.3 Behälterförderanlagen mit Förderbändern, Behälteraufzügen und Förderbehälter 6
2.3.1 Förderelemente 7
2.3.2 Typische Anwendungen in Bibliotheken 10
2.4 Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern 13
2.4.1 Das Steuerungssystem 14
2.4.2 Das Transportsystem 15
2.4.3 Der Transportbehälter 16
2.4.4 Typische Anwendungen 21
2.5 Fahrerlose Transportsysteme (FTS) 22
2.5.1 Navigation 23
2.5.2 FTS-Leitsteuerung 24
2.5.3 Typische Anwendungen 28

3 VERGLEICH, BEWERTUNG UND AUSWAHL DER TRANSPORTSYSTEME **30**

3.1 Bewertungsmethoden 30
3.2 Entwicklung eines Bewertungskatalogs 33
3.3 Systemauswahl 43

4 ERARBEITUNG EINES NEUARTIGEN KONZEPTS **49**

4.1 Festlegung eines Anwendungszustands 49
4.1.1 Transportlogistik in Bibliotheken 49
4.1.2 Ein Platzsystem von Bibliotheken 52

4.2 Ein neuartiges Konzept mittels FTS....54
4.2.1 Vorstellung eines neuartigen Konzepts....55
4.2.2 Navigation....61
4.2.3 Sicherheit....63
4.3 Potenzialeinschätzung....65

5 FAZIT....68

5.1 Zusammenfassung....68
5.2 Ausblick....69

LITERATURVERZEICHNIS....71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Bücherwagen in vielfältigen Formen.....5
Abbildung 2-2 Behäiterförderanlage im Industriebereich.....6
Abbildung 2-3 90° Kurvenrollenbahn.....8
Abbildung 2-4 45° Kurvenrollenbahnen.....8
Abbildung 2-5 Automatische Sortieranlage.....10
Abbildung 2-6 Stationen der Kleingüteraufzüge.....11
Abbildung 2-7 Vollbehälterspeicher.....11
Abbildung 2-8 Station der Buchförderanlage in der Leihstelle.....12
Abbildung 2-9 Touchscreen-Terminal von Firma Telelift.....15
Abbildung 2-10 Die Schienensysteme von Firma Telelift.....16
Abbildung 2-11 UniSafeCar mit Pendelbehältern.....17
Abbildung 2-12 UniSafeCar mit manueller Be- und Entladung.....17
Abbildung 2-13 Zeichnung vom UniSafeCar.....18
Abbildung 2-14 UniCar-B320.....18
Abbildung 2-15 Zeichnung vom UniCar-B320.....19
Abbildung 2-16 Quadratisches Format vom UniSortCar.....20
Abbildung 2-17 Automatische Entladung vom UniSortCar.....20
Abbildung 2-18 Zeichnung vom UniSortCar.....21
Abbildung 2-19 Telelift UniSortCar-System in Stadtbibliothek Stuttgart.....22
Abbildung 2-20 Funktionsbausteine einer FTS-Leitsteuerung.....27
Abbildung 2-21 „Hase“ und „Igel“.....29
Abbildung 2-22 Rotierender Laser.....29
Abbildung 3-1 Methodischer Ablauf der Nutzwertanalyse.....32
Abbildung 4-1 Medieneingang.....50
Abbildung 4-2 Medienbereitstellung.....51
Abbildung 4-3 Medienrückgabe.....51
Abbildung 4-4 Layout eines Platzsystems von Bibliotheken ---- Erdgeschoss.....53

Abbildung 4-5 Layout eines Platzsystems von Bibliotheken ---- 1. Obergeschoss..... 54

Abbildung 4-6 Neues Layout ---Erdgeschoss.....60

Abbildung 4-7 Neues Layout --- 1. Obergeschoss.....61

Abbildung 4-8 Abgrenzung im Layout --- Erdgeschoss.....64

Abbildung 4-9 Abgrenzung im Layout --- 1.Obergeschoss.....64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Werteskala für die Gewichtungsfaktoren..... 32

Tabelle 3-2 Werteskala für die Zielerreichungsfaktoren..... 33

Tabelle 3-3 Schema des Bewertungskatalogs.....39

Tabelle 3-4 Gewichteter Bewertungskatalog.....42

Tabelle 3-5 Bewertungsergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit..... 44

Tabelle 3-6 Bewertungsergebnisse zur Einsparung von Ressourcen..... 45

Tabelle 3-7 Bewertungsergebnisse zu den zukunftsorientierten Fähigkeiten..... 46

Tabelle 3-8 Bewertungsergebnisse zu den Kosten.....47

Tabelle 3-9 Übersicht der Bewertungsergebnisse.....48

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Kurzzeichen	Benennung
B	Bewertung
BFA	Behälterförderanlagen
E	Ergebnis
FSB	Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern
FTF	Fahrerlose Transportfahrzeuge
FTS	Fahrerlose Transportsysteme
G	Gewichtung
GP	Gesamtpunktzahl
PS	Poststelle
LA	Lastenaufträge
PB	Parkbereich
BS	Bearbeitungsstation
SB	Sortierbereich
RB	Rückgabebereich
AB	Ausleihbereich
PA	Personenaufträge
BHS	Behälterspeicher
FS	Federwagenspeicher
KS	Kommissionierungsstation
SS	Sortierstation

ASRS	Automated Storage and Retrieval Systems
RFID	Radio Frequency Identification
VLM	Vertical-Lift-Moduls
ZP	Zwischenpunktzahl

1 Einleitung

1.1 Das Thema

Bibliotheken spielen heutzutage in der Gesellschaft als Multimediahäuser und moderne Bildungs- und Kulturzentren eine immer wichtigere Rolle. Vor diesem Hintergrund hat innovative Bibliothekstechnik immer mehr Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Diese Arbeit befasst sich mit einem Teil davon, nämlich die Innovation und Optimierung der Transportlogistik in Bibliotheken. Mit Hilfe von Mitarbeitern der Universitätsbibliothek Stuttgart sollte ein automatisiertes Transportkonzept entwickelt werden, das den Transport konventioneller Medien vom Wareneingang über die Buchbearbeitung und Katalogisierung bis zum endgültigen Standort im Regal sowie den Umschlag dieser Medien im Ausleihbetrieb beinhaltet. Damit werden Mitarbeiter von manuellen Transportaufgaben entlastet und zusätzliche Personalressourcen gewonnen. Außerdem wird Effizienz der Transportvorgänge erheblich verbessert.

1.2 Problemstellung

Ein flexibles und effizientes Transportkonzept in Bibliotheken wird die bessere Fähigkeit haben, auf verschiedene Änderungen zu reagieren und die wachsenden Bedürfnisse im Kontext der digitalen Transformation zu befriedigen. Dagegen wird der Transport konventioneller Medien in der Universitätsbibliothek Stuttgart bislang entweder manuell oder über stationäre Transportanlagen erledigt. Für einen geplanten Neubau sollte ein

innovatives Transportkonzept entworfen werden. Dabei musste eine Herausforderung gemeistert werden, welche die gleichzeitige Nutzung der Verkehrsflächen des Gebäudes mit Sicherheit durch Menschen und Transportmaschinen ist. Der Arbeit liegt das Problem zugrunde, welches lautet: Welches innovative Transportkonzept kann für einen geplanten Neubau einer Bibliothek eingesetzt werden?

1.3 Aufgabenstellung

Zur Lösung des oben genannten Problems sollen die folgenden Schritte nacheinander ausgeführt werden. Zunächst sollen bestehende Transportsysteme durch ausführliche Literaturrecherche gesammelt werden. Anschließend sollen diese Systeme analysiert werden, um herauszufinden, wie sie funktionieren und welche Eigenschaften sie jeweils besitzen. Danach werden diese Transportsysteme im Anwendungsfall von Bibliotheken verglichen und bewertet. Daraus werden die am besten geeigneten Möglichkeiten abgeleitet. Zu den vorgegebenen Räumlichkeiten und Bedingungen einer Bibliothek wird ein neues Transportkonzept basierend auf den oben genannten Möglichkeiten entwickelt. Schließlich soll das Potenzial dieses innovativen Konzepts abgeschätzt werden.

1.4 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, ein innovatives sowie automatisiertes Transportkonzept für einen geplanten Neubau einer Bibliothek zu entwickeln, das sicher, flexibel und raumsparend ist.

1.5 Vorgehen

Zuerst wird die Einleitung der Studienarbeit erstellt, in welcher die Themenabgrenzung, das Problem, das Ziel der Arbeit und die Vorgehensweise beschrieben wird.

Danach wird auf den Stand der Technik zu bestehenden Transportsystemen eingegangen.

Im Hauptteil werden die Möglichkeiten zu einsetzbaren Transportkonzepten im Anwendungsfall der Bibliothek analysiert, verglichen und bewertet. Um möglichst realitätsnahe Anforderungen in Bibliotheken berücksichtigen zu können, wird mit Mitarbeitern der Universitätsbibliothek zusammengearbeitet.

Auf Basis der Analyse und Bewertung wird ein neues Transportkonzept für den geplanten Neubau einer Bibliothek abgeleitet.

Zum Schluss werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick für weitere Forschungen gegeben.

2 Stand der Technik

Um Güter von einem Ort zum anderen zu bewegen, werden Transportsysteme eingesetzt. Es wird grundsätzlich zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Transport unterschieden. Transportaufgaben in Bibliotheken betreffen einerseits den Transport von Büchern, von Personen und von Bestellungen als interne Transportaufgaben, andererseits den externen Transport von Büchern und Postsendungen. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Transport konventioneller Medien innerhalb Bibliotheken konzipiert. Dazu sollen so genannte Innerbetriebliche Transportsysteme eingesetzt werden. Dabei wird in der Regel der Transport als Fördern bezeichnet und mit Förderanlagen (bzw. Fördermittel) durchgeführt. Zur Entwicklung eines neuen Transportkonzept für einen geplanten Neubau einer Bibliothek werden im Folgenden hauptsächliche Lösungsmöglichkeiten zu internen Buchtransportaufgaben genannt und analysiert.

2.1 Handbücherwagen

Bücherwagen in unterschiedlichen Formen haben als Transportmittel eine lange Tradition in Bibliotheken.[1] Mithilfe von diesen muss der Transport zwar manuell erledigt, aber diese können als Komponenten automatisierter Transportsysteme einige Transportprozesse erleichtern, wie z. B. von Stationen bis Regalen. Im Folgenden sind verschiedene Formen für den Einsatz in Bibliotheken dargestellt.

[1] vgl. Prof. Dr. Naumann, U. (2013): S. 30

Abbildung 2-1 Bücherwagen in vielfältigen Formen[2]

2.2 Förderbandanlagen (ohne Behälter)

Das Förderband (auch Fließband, Transportband oder fachsprachlich Bandförderer, Gurtbandförderer oder Gurtförderer) ist eine meist stationäre Förderanlage, die zum technischen Fachbereich der Stetigförderer gehört. Förderbandanlagen werden in Bibliotheken zum Transport von Büchern eingebaut, da sie zuverlässig sind, geringe Wartungs- und Investitionskosten anfordern und das Fördergut an jeder Stelle des Förderwegs auflegen sowie absenden können. Dagegen verfügen diese Förderanlagen aber über folgende Nachteile:

1. wegen der Stationärität dieser Anlagen beanspruchen sie mehr festen Raum im Gebäude. Im Vergleich zu Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern (wie z.B. System Telelift) sind sie platzaufwendiger.

[2] Abbildung: vgl. Firma Eichmüller (2021): online

2. sie haben infolge der starren Förderbänder wenige Fähigkeit, an die baulichen Gegebenheiten eines Gebäudes flexibel anzupassen und auf die zukünftigen Weiterentwicklungen und Änderungen zu reagieren.
3. sie können wegen der Rutschmöglichkeit des Fördergutes die Bücher über langen senkrechten Entfernungen transportieren nicht (maximal 2 Geschosse) und benötigen aufgrund begrenzten Steigungswinkels viel Platz.
4. In der Regel ist eine Rückförderung bei diesen Anlagen ausgeschlossen (Einbahnverkehr), wenn nicht die ganzen Anlagen umgeschaltet werden.[3]

2.3 Behälterförderanlagen mit Förderbändern, Behälteraufzügen und Förderbehälter

Großformatige Behälterförderanlagen mit Förderbehältern in Waschkorbgröße sind für die meisten Einsatzzwecke inzwischen überholt und werden bei Neubauten selten eingeplant, werden aber seit Jahrzehnten in großen Bibliotheken ausgestattet. In diesen Jahren werden diese Anlagen mit der Entwicklung der Technik kontinuierlich verbessert. Mithilfe von elektronischer Steuerung und RFID-Technologie können die Behälterförderanlagen eine hochgradige automatisierte Lösungsmöglichkeit anbieten.

Abbildung 2-2 Behäiterförderanlage im Industriebereich[4]

[3] vgl. Prof. Dr. Naumann, U. (2013): S. 26-27
[4] Abbildung: Behälterförderanlage im Industriebereich, vgl. Firma Gebhardt (2021): online

2.3.1 Förderelemente

Bei diesen Anlagen können standardisierte Förderelemente nach verschiedenen Anforderungen ausgewählt und eingesetzt werden, wie z. B. Gurtförderbänder, Rollenbahnen, Paternoster bzw. Umlaufaufzüge, automatische Behälteraufzüge usw. Im Folgenden werden Rollenbahnen und Aufzüge erklärt.

2.3.1.1 Rollenbahnen

Rollenbahnen (auch Rollenförderer, Rollentransfer) sind innerhalb der Fördertechnik stationäre Anlagen, bei denen Gegenstände über eine Anordnung von Rollen transportiert werden. Auf geneigt installierten Rollenbahnen kann das Fördergut ohne Antrieb selbstständig hinabrollen. Durch einen motorischen Antrieb werden aber flexiblere Laufwege realisiert. Rollenbahnen können als einzelne Geräte oder als Teil eines komplexen Transportsystems genutzt werden. Ihr Einsatzgebiet reicht von der Kommissionierung und Lagerung über die Sortierung und Verteilung von Waren.[5] Im Anwendungsbereich gibt es verschiedene Komponenten zu vielfältigen Förderaufgaben, wie z.B. Staurollenbahnen und Kurvenrollenbahnen.

Staurollenbahnen dienen zur Fortbewegung von Gegenständen durch motorischen Antrieb. Die Fördergüter fahren bis zum Ende einer Transportstrecke und bleiben dort stehen zum Aufstauen bzw. zum Puffern. Mit ununterbrochenem Antrieb werden die nachkommenden Gegenstände auf einen Stopper oder ein anderes Gut gefördert. Bei Staus werden die Fördergüter auf der Rollenbahn dicht beieinander angeordnet.[6]

[5] vgl. Technology Group MK (2021): online
[6] vgl. WTT Fördertechnik (2021): online

Kurvenrollenbahnen können im Vergleich zu Förderbändern eine kurvenförmige Förderstecke besser ermöglichen. Ablenkungen werden typisch entlang eines Viertelkreises (90°) oder auch weniger als 90° Winkel (wie z. B. 45°) erfolgt. Die enthaltenen Walzen oder Rollen mit ihren horizontal liegenden Achsen werden stets quer zur Bahn angeordnet.[7]

Abbildung 2-3 90° Kurvenrollenbahn[8]

Abbildung 2-4 45° Kurvenrollenbahnen[9]

[7] vgl. Ackrutat Technischer Handel (2021): online
[8] Abbildung: Ebenda
[9] Abbildung: Ebenda

2.3.1.2 Aufzüge

Aufzüge (auch Aufzugsanlage, Fahrstuhl, oder Lift) zählen in der Fördertechnik zu den unstetigen Förderanlagen. Bei Behälterföderanlagen werden Aufzüge eingesetzt, um die Fördergüte in einer beweglichen Kabine, einem Fahrkorb oder auf einer Plattform in vertikaler Richtung zwischen Stockwerken zu transportieren. Es gibt vielfältige Arten von Aufzügen. Im Anwendungsfall von Bibliotheken werden Güteraufzüge und Paternoster zum Transport von Förderbehältern üblich ausgestattet.

Güteraufzüge sind nach der bisherigen deutschen Aufzugsverordnung Aufzugsanlagen, die speziell für den unbegleiteten Transport von Gütern verantwortlich sind. Keines Betreten von Personen - außer zum Be- und Entladen ist erlaubt. Daher können in Güteraufzüge nur von außen bedient werden. In der Kabine darf sich kein Bedienfeld befinden. Dabei werden die Bauart, Grundfläche und Transportkapazität nach den Anforderungen und Wünschen flexibel eingestellt. Kleingüteraufzüge sind Sonderformen der Güteraufzüge, die eine kleine Fahrkorbgrundfläche besitzen.[10]

Paternoster beziehen sich bei Buchförderanlagen auf Güteraufzüge im Paternosterprinzip. Das ist eine Sonderform einer Aufzugsanlage, welches zu stetigen Förderanlagen gehörst. Bei Paternoster verkehren mehrere Kabinen in zwei Schächten im Kreis. In einem Schacht fahren die Kabinen immer nach unten und im anderen Schacht immer nach oben. Am oberen und unteren Wendepunkt bewegen die Kabinen sich entlang kreisförmigen Scheiben in den jeweils anderen Schacht. Gegenüber anderen Aufzügen haben Paternoster den Vorteil, dass sie ohne lange Wartezeiten in zwei Richtungen (aufwärts und abwärts) ständig verfügbar sein können. Diese sind somit geeignet für eine hohe Förder- und Transportleistung.[11]

[10] vgl. Lift Journal (2021): online
[11] vgl. Hiro Lift (2021): online

2.3.2 Typische Anwendungen in Bibliotheken

Ein Beispiel für diese Anwendung von Behälterförderanlagen findet sich in der Universitätsbibliothek Freiburg. Diese Buch- und Medienförderanlage von Gilgen Logistics verbindet die Magazinbereiche mit der Ausleihe, der Buchrückgabe und der Poststelle, die mit Rückgabeautomaten und Sortieranlage kombiniert eingebaut werden.

Einzelne Medien werden an den vier automatischen Rückgabeautomaten zurückgegeben und über Gurtförderbänder und Viertikalförderer zur Sortieranlage im ersten Untergeschoss fördert. Dort werden sie nach Zielbereichen in der Bibliothek in Behältern vollautomatisch verteilt. Nach der Sortierung der Medien gelangen die befüllten Förderbehälter zu den zwei automatischen Kleingüteraufzügen, welche die einzelnen Stockwerke miteinander verbinden und die Behälter in die neun Stockwerke transportieren. Eine Sonderheit ist dabei der Einsatz von Leerbehälterspeicher und Vollbehälterspeicher. Der Leerbehälterspeicher versorgt die Sortieranlage mit leeren Behältern. Der Vollbehälterspeicher dient zur Zwischenlagerung, wenn alle Zielstationen der Aufzüge voll sind. Die Steuerung der Behälterförderanlage erfolgt über RFID-Technologie.[12]

Abbildung 2-5 Automatische Sortieranlage[13]

[12] vgl. Gilgen (2016): online
[13] Abbildung: Ebenda

Abbildung 2-6 Stationen der Kleingüteraufzüge[14]

Abbildung 2-7 Vollbehälterspeicher[15]

Dazu ist eine andere typische Anwendung in der Volkswagen Universitätsbibliothek der Technischen Universität / Universität der Künste, Berlin. Dabei verbindet die Buchförderanlage die einzelnen Stockwerke vom Untergeschoss bis in das vierte Obergeschoss und den Benutzungs- bzw. Verwaltungsbereich, welche aus vier Aufzügen, einem Förderbandring mit einem integrierten Bahnhof für Leerbehälter besteht. Der unter der Decke des Untergeschosses verlaufende Förderbandring verbindet die vier Aufzügen. Im System werden insgesamt 64 Zielstationen eingebaut. Die Steuerung der Buchförderanlage erfolgt über eine SPS (speicherprogrammierbare Steuerung). Für den Steuerungsmechanismus zur Standort- und Zielbestimmung der Behälter werden Transponder eingesetzt. Diese Transponder werden an beiden Längsseiten der Förderbehälter ausgestattet. Die Eingabe von Zielorten wird an den

[14] Abbildung: Ebenda
[15] Abbildung: Ebenda

einzelnen Versendestationen an einem Bedienterminal (Touchscreen Panel) erledigt und damit der Transponder wird codiert. Mithilfe von an jeder Entscheidungsstelle installierten Leseeinheiten werden die Behälter bei Weichen im Transportablauf in die vorbestimmte Richtung gelenkt. Darüber hinaus wird der Weg eines Transportbehälters auf Basis der Transponder verfolgt, da jeder Behälter individuell codiert ist. Die Meldung der Ankunft der Förderbehälter erfolgt in der Regel über ein akustisches und/oder optisches Signal, was im Verwaltungsbereich aber nicht einsetzbar ist. Diese Buchförderanlage bietet eine neue Möglichkeit an, dass die Meldung der Ankunft von Behältern über eine Schnittstelle der SPS zur Telefonanlage auf Telefonapparaten in Büros erfolgt. Im Gegensatz zu anderen Anlagen dieser Art (wie z.B. oben genannte Behälterförderanlage in Universitätsbibliothek Freiburg) wird die Adressierung der Behälter über die an den Behältern ausgestatteten Schiebereglern manuell erledigt nicht. Außerdem verringern sich die Kosten für den Ersatz von Transportbehältern, da nur der Behälter ersetzt werden muss und der Transponder des beschädigten Behälters abgenommen und am Ersatzbehälter wiederverwendet werden kann.[16]

Abbildung 2-8 Station der Buchförderanlage in der Leihstelle[17]

[16] vgl. Quast, A. (2005): S. 22
[17] Abbildung: Universität der TU Berlin (2007): S.42

Behälterförderanlagen mit Förderbändern sind im Vergleich zu den folgenden behandelten Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern teuer, unflexibel und platzaufwendig. Darüber hinaus bestehen dabei auch die Probleme bei den Förderbandanlagen. Zudem sind zur Verbindung der einzelnen Etagen in mehrgeschossigen Gebäuden komplizierte und wartungsintensive Aufzüge erforderlich, die über einen hohen Platzbedarf verfügen.[18]

2.4 Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern

Bei Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern handelt es sich hier um die modernen Schienensysteme von Firma Telelift sowie ähnliche Systeme. In den letzten Jahrzehnten werden diese Anlagen verbreitet eingesetzt, um Transportaufgaben konventioneller Medien in Bibliotheken zu lösen. Diese Anlagen basieren auf einem klassischen ETV-System. Ein ETV-System (electric track vehicle system) ist ein Fördersystem für den Transport von leichten Gütern. Das System nutzt selbstfahrende Fahrzeuge mit Antriebseinheiten, die auf einem Schienenbahn-Gleisnetz fahren, welches besteht aus geraden Profilschienen, Kurve- und Bögenelementen, verschiedenen Weichenmodellen, Stationsterminals u.v.m. Diese Fahrzeuge in einem ETV-System sind in der Lage, die Nutzlasten maximal bis 50 kg vertikal und horizontal in Gebäuden zu fördern. Im Folgenden geht es hauptsächlich um die Anwendung in Bibliotheken.[19]

Bei einer Buchförderanlage gibt es die drei wichtigsten Elemente, nämlich das Steuerungssystem, das Transportsystem und der Transportbehälter.[20]

[18] vgl. Prof. Dr. Naumann, U. (2013): S. 28
[19] vgl. Telelift (2021): online
[20] vgl. Richter, A. (2009): S. 176

2.4.1 Das Steuerungssystem

Die Steuerung dieser Förderanlagen erfolgt mittels des dezentralen, SPS (speicherprogrammierbare Steuerung)-basierten Telelift TeleControl Steuerungssystems. Sie enthält die Software zur Steuerung der Förderanlagen an sich und die der Transportbehälter. Die Steuerungen kommunizieren über ein TCP/IP-Netzwerk und die charakteristische Kommunikation über eine im Fahrprofil ausgestattete Kommunikationsschiene. Die beladene Förderbehälter werden jeweils mit dem Zielort codiert und auf einem Touchscreen-Terminal per Direktauswahl an das gewünschte Ziel geschickt. Die elektronische Steuerung gewährleistet bei weitverzweigten Anlagen mit einer Vielzahl von Weichen und Spurwechslern einen zielsicheren Transport. Eine andere Funktion im Steuerungssystem ist die automatische Positionserkennung. Dadurch ist es möglich, jeden Transportbehälter auf seinem Weg nachzuverfolgen und individuell zu identifizieren. Der Standort des Behälters wird jederzeit durch Positionscodes an Meldepunkten erfasst, der an einen Bedienerschnittstellen-Computer übertragen werden. Bei einer unbefugten Unterbrechung oder einem Zwangsstopp des
Förderanlage wird sofort eine Benachrichtigung an den Computer gesendet, wenn der Behälter den nächsten Meldepunkt nicht rechtzeitig erreicht. Dadurch wird die Sicherheit von Fördergütern während des Transports garantiert. Darüber hinaus können Einsatzkapazitäten und Systemleistung geplant sowie gesteuert werden. In Spitzenzeiten werden mehrere Wagen automatisch aktiviert. Bei einem geringen Transportaufkommen werden die Wagen in einem Puffer abrufbereit geparkt. Ein akustisches und optisches Signal informiert der Empfänger, wenn der Förderbehälter seine Endstation erreicht hat. Möglich ist auch, die Ankunftsmeldungen via SMS oder E-Mail zu realisieren.[21]

[21] vgl. Telelift (2021): online

Abbildung 2-9 Touchscreen-Terminal von Firma Telelift[22]

2.4.2 Das Transportsystem

Bei diesen Förderanlagen wird ein Schienensystem als das Transportsystem eingesetzt. Diese schienengebundene Transportsysteme sind infolge der geringen Abmessungen geeignet, um in Bibliotheken eingebaut zu werden. Die Schienen sind äußerst schmal und die Mauerdurchbrüche klein sowie unauffällig. Bei den Schienenführungen sind die Kurvenradien für den waagerechten Transport 60 cm und 62-68 cm für die vertikalen Strecken.[10] Aufgrund von dieser Eigenschaft können die Schienenwege überall in Gebäuden flexibel ausgestattet werden und auch bis in das kleinste Büro geführt werden. Im Vergleich zu den oben genannten Behälterförderanlagen können die Transportkonzepte mit Schienensystemen nach den Anforderungen und Räumlichkeiten von Gebäuden flexibler sowie mit kleinerem Platzbedarf entwickelt werden. Die statische Belastung für die Gebäude ist auch geringer. Darüber hinaus erlauben diese schienengebundene Transportsysteme nicht nur Horizontalfahrt sondern auch Vertikalfahrt. Bei der Senkrechtförderung entfallen die Probleme der Umlaufaufzüge, die bei Behälterförderanlagen (Paternosterprinzip) auftreten können. Hiermit können diese Systeme einfacher sein und über höhere Zuverlässigkeit sowie

[22] Abbildung: Ebenda

Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit verfügen.[23]

Abbildung 2-10 Die Schienensysteme von Firma Telelift[24]

2.4.3 Der Transportbehälter

Bei dieser schienengebundenen Förderanlage sind die selbstfahrenden Transportbehälter mit eignen Antriebseiheiten ausgestattet. Diese Förderbehälter (Fahrzeuge) bestehen jeweils, abhängig von Zuladung und Transportgeschwindigkeit, aus einer von zwei möglichen Standardvarianten des sogenannten Chassis, sowie abhängig vom Transportgut und der Anwendungsumgebung einem der vielzähligen Behälteraufsätze, in welchem das jeweilige Fördergut transportiert wird. Auf Basis unterschiedlicher Transportgüter sowie Formate werden die Transportbehälter in verschiedenen Anwendungsfällen z.B. wie in Bibliotheken, Krankenhäusern, Industrien usw. individuell entwickelt. Im Folgenden werden die speziell in Bibliotheken eingesetzten Transportbehälter erzählt, welche von Telelift konzipiert wurden, nämlich das UniSafeCar™ sowie das UniCar-B320 für den Sammeltransport und das UniSortCar für den Einzeltransport.[25]

[23] vgl. Prof. Dr. Naumann, U. (2013): S. 28-29
[24] Abbildung: Telelift (2021): online
[25] vgl. Telelift (2021): online

2.4.3.1 UniSafeCar™, UniCar-B320

Für den schonenden Sammeltransport von hochsensiblen Gütern in Bibliotheken wird das UniSafeCar™ eingesetzt. Dieses Fahrzeug mit offenen Behältern wird manuell be- uns entladen. Es eignet sich für wertvolle historische Handschriften, Drucke, Karten, Inkunabeln, Mikroformen aber auch andere Bestandsarten wie Bücher, CDs, DVDs usw. Das UniSafeCar™ erlaubt ein Transportgewicht bis zu 10 Kg und kann Formate bis DIN A2 aufnehmen. Dank der drehbar aufgehängten Pendelbehälter lagert das Transportgut während der gesamten Fahrt waagrecht – auch bei Vertikalstrecken, Loopingstationen oder hängenden Streckenführungen. Mithilfe von einem weichen, gummierten Boden wird ein Verrutschen der Medien verhindert.[26]

Abbildung 2-11 UniSafeCar mit Pendelbehältern[27]

Abbildung 2-12 UniSafeCar mit manueller Be- und Entladung[28]

[26] vgl. Ebenda
[27] Abbildung: Telelift (2021): online
[28] Abbildung: Ebenda

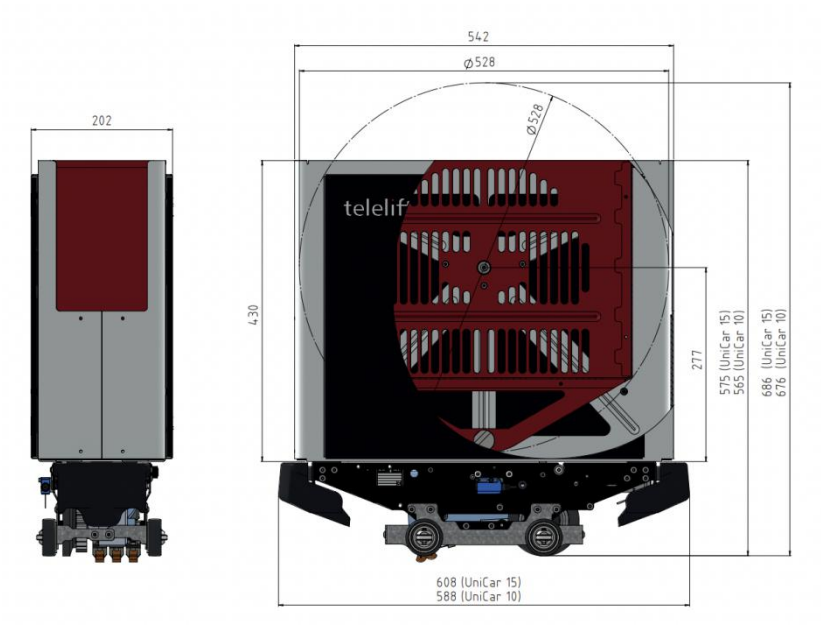

Abbildung 2-13 Zeichnung vom UniSafeCar[29]

Die Einsatzbereiche des UniCar B320 sind bei Telelift Krankenhäusern sowie Industrie. Allerdings eignet sich das B320 auch für den schonenden Transport größerer Güter in Bibliotheken. Es wird ausgestattet, um größere Transportgüter wie z.B. Kiste, Skulpturen oder eine Vielzahl kleiner Transportgüter gleichzeitig zu transportieren. Gleich wie das UniSafeCar wird der B320-Behälter auch manuell be- und entladen. Darüber hinaus verfügt es ebenfalls über einen pendelnden Behälter, um der Inhalt stets in Waage ausgerichtet zu bleiben. Im Vergleich zum UniSafeCar ist sein Volumen (Innenabmessungen 436/316/205 (L/B/H, mm)) größere. Die Zuladung des B320 beträgt 8 kg.[30]

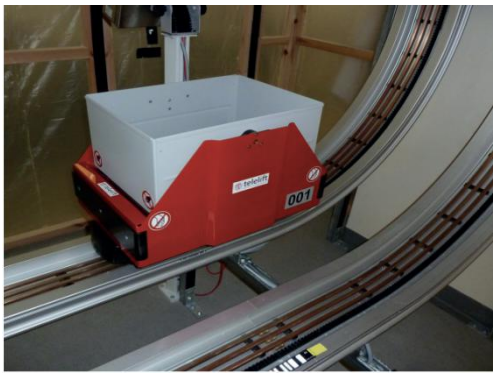

Abbildung 2-14 UniCar-B320[31]

[29] Abbildung: Ebenda
[30] vgl. Telelift (2021): online
[31] Abbildung: Ebenda

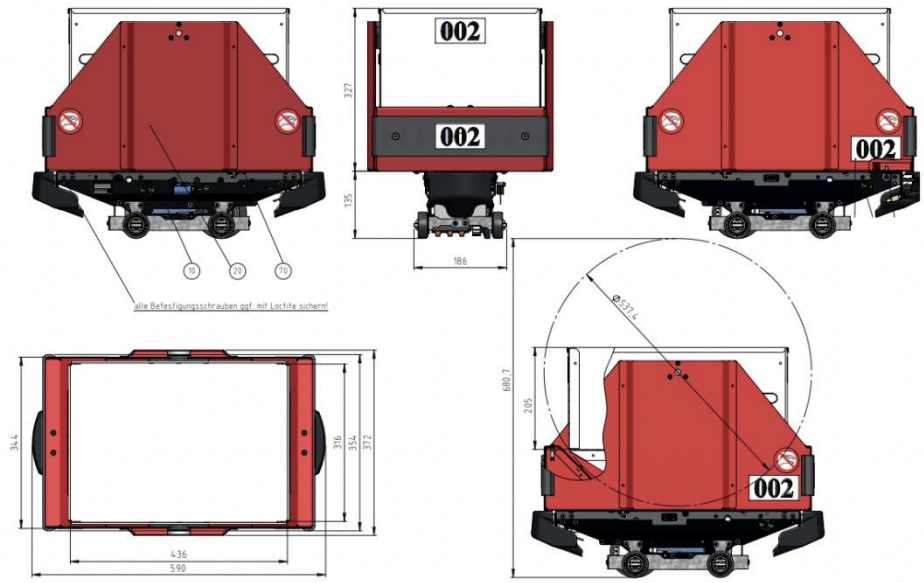

Abbildung 2-15 Zeichnung vom UniCar-B320[32]

2.4.3.2 UniSortCar

Das UniSortCar kann je nach Bedarf und Anforderungen für den Einzeltransport von der Buchrückgabe zum Sorter, von dort zum Magazin bis hin zur Bereitstellung eingesetzt werden. Es vereinfacht die Buchsortierung nachhaltig, da eine Vorsortierung von Medien dadurch ermöglicht werden kann. Wegen seines funktionalen, quadratischen Formats eignet es sich für vielfältige Medienarten wie z.B. Bücher, CDs/DVDs, Bildbände, Zeitschriften usw. Mithilfe einer elastischen Innenbeschichtung wird ein schonender Einzeltransport gewährleistet. Darüber hinaus verfügt das UniSortCar über eine elektronische Verriegelung, die das Transportgut vor frühzeitiger Entnahme während des Transports schützt und die Öffnung des Behälters nur in der beabsichtigten Zielstation erlaubt. Das UniSortCar wird automatisch be- und entladen. Einzelnes Medium wird entsprechend definierter Sortierkriterien zum Weitertransport vom Sortierband in ein UniSortCar gefördert. Dabei benötigt das UniSortCar nur wenige Sekunden, um das Medium entgegenzunehmen und es dann auf die Reise zu schicken. Die Entladung kann sowohl von links als auch rechts vorgenommen werden. Dadurch

[32] Abbildung: Ebenda

können mehr Variationsmöglichkeiten bei der Streckenführung ermöglicht werden.[33] Im Vergleich zum Sammeltransport wird das Automatisierungsgrad beim Einzelmedientransport erhöht. Der Einzeltransport spart übrigens Zeit und erhöht die Verfügbarkeit der Medien durch spontane Bestellungen für den Bibliotheksnutzer. Im Gegensatz dazu eignet sich der Einzeltransport nicht für die Gegenstände, die noch nicht im Bestand sind und über keine Adressierbarkeit verfügen, wie z.B. gerade erworbene Bücher. Der Transport dieser Medien von der Poststelle in die Büros oder zur Zwischenlagerung ins Magazin wird dadurch erledigt nicht.

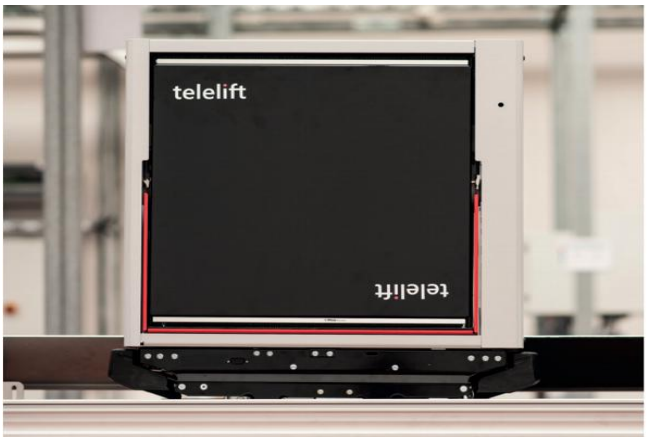

Abbildung 2-16 Quadratisches Format vom UniSortCar[34]

Abbildung 2-17 Automatische Entladung vom UniSortCar[35]

[33] vgl. Telelift (2021): online
[34] Abbildung: Telelift (2021): online
[35] Abbildung: Ebenda

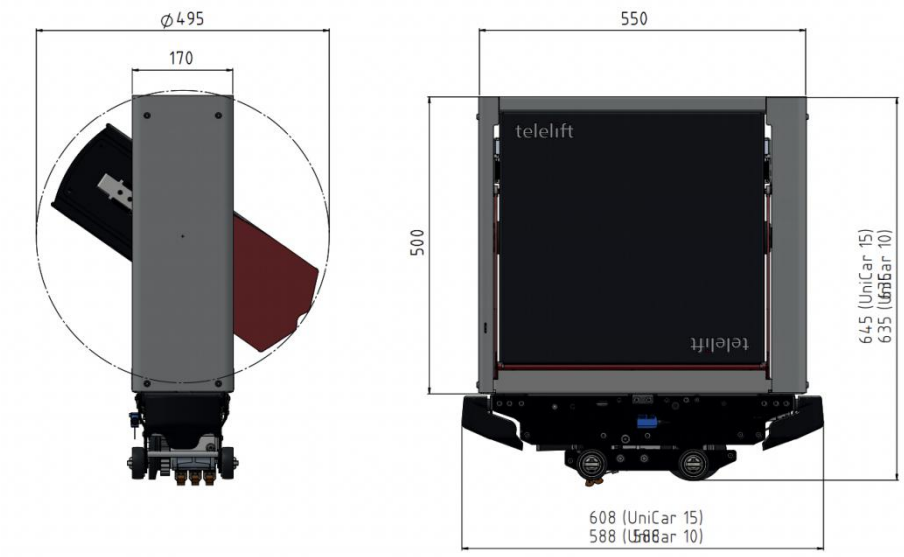

Abbildung 2-18 Zeichnung vom UniSortCar[36]

2.4.4 Typische Anwendungen

Ein Beispiel von typischen Anwendungen für den Einzeltransport ist ein schienengebundenes Transportkonzept von Telelift in Stadtbibliothek Stuttgart. An vier Rückgabeautomaten werden die Medien durch Bibliotheksbenutzer schnell und einfach aufgenommen. Die Verbuchung in das Bibliothekssystem wird am Touchscreen bestätigt und das System aktualisiert automatisch das Benutzerkonto. Anschließend werden die Medien über ein Förderband entweder in einen der drei Bücherwagen für reservierte Medien oder einzeln in ein UniSortCar sortiert, das sofort nach definierten Zielstationen fahrt. Wenn das UniSortCar an der richtigen Zielstation ankommt, öffnet sich die elektrische Verriegelung automatisch. Das einzelne Medium wird direkt auf angedockte Stapelwagen sortiert. Bei diesem Transportkonzept sind insgesamt 70 Wagen auf einer Streckenführung von fast 200 Meter über acht Stockwerke im Einsatz. Die Anzahl der Sortierziele beträgt 44 und auf jedem Stockwerk werden fünf Ausgabestellen ausgestattet.[37]

[36] Abbildung: Ebenda
[37] Broschüre, vgl. Telelift (2021): S.12

Abbildung 2-19 Telelift UniSortCar-System in Stadtbibliothek Stuttgart[38]

2.5 Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

Alternative zu einer Buchförderanlage können automatisierte Flurförderzeuge, beziehungsweise fahrerlose Transportsysteme (FTS) zur Erfüllung von Förderaufgaben in Bibliotheken eingesetzt werden. Eine Definition zum FTS ist aus der VDI-Richtlinie 2510 entnommen: „*Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist. Sie werden innerhalb und außerhalb von Gebäuden eingesetzt und bestehen im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:*

- *einem oder mehreren Fahrerlosen Transportfahrzeugen,*
- *einer Leitsteuerung,*
- *Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung,*
- *Einrichtungen zur Datenübertragung,*
- *Infrastruktur und peripheren Einrichtungen.*“[39]

[38] Abbildung: Telelift (2021): online
[39] Definition zum FTS: Ullrich, Albrecht (2019): S. 29

In diesem Abschnitt werden die Navigation und Leitsteuerung des FTS analysiert. Danach werden Beispiele für den Einsatz vom FTS in Bibliotheken dargestellt.

2.5.1 Navigation

Die Navigation stellt auf Fahrzeugebene eine entscheidende Funktion eines FTS dar. Auf Basis dieser Funktion ist ein FTF in der Lage, die Transportaufgaben ohne menschlichen Fahrer selbstständig zu erledigen, was den Automatisierungsgrad erheblich erhöht. Bei der Navigation gibt es drei grundliegende Aufgabenstellungen:

1) Positionsbestimmung (Ortung)

Mittels verschiedener Verfahren wird die aktuelle Position eines FTF bestimmt.

2) Kursbestimmung

Durch die Vermessung von der aktuellen Fahrtrichtung und der Geschwindigkeit wird der momentane Kurs ermittelt.

3) Kurskorrektur

Durch unterschiedliche Maßnahmen wird die Korrektur des Kurses durchgeführt, um ein gewünschtes Ziel sicher und zuverlässig zu erreichen.

Dabei laufen zwei fundamentale Vorgänge ab: das Koppeln und das Peilen.

Das Koppeln meint die Positionsbestimmung durch Messen von Fahrtrichtung und Geschwindigkeit oder Fahrtstrecke von einem bekannten Startpunkt ausgehend, welches bei Landfahrzeugen auch als Odometrie bezeichnet wird. Diese Vermessung erfolgt mittels Drehwinkelgeber und Inkrementalgeber an den Rädern, Zeitzähler und ggf. einen Drehratensensor. Obwohl durch die Koppelnavigation die Position mittels einfacher Messgeräte und Algorithmen bestimmt werden kann, treten die prinzipbedingte Probleme und Fehler beim Vorgang auf, z.B. durch den Radschlupf, Veränderung des Raddurchmessers aufgrund von Abnutzung oder unterschiedlichen Lasten usw. Daher ist die Koppelnavigation allein für FTF nicht ausreichend und das rechtzeitige und regelmäßige Peilen erforderlich.

Beim Peilen werden entweder ortsfeste passive Marken oder aktive Technologien zur Orientierung benutzt. Die passive Marken sind in zwei Arten unterteilt, nämlich künstlich und natürlich. Bei künstlichen Marken handelt es sich um im oder auf dem Fußboden angebrachte Markierungen oder an Säulen oder Wänden installierte Reflexmarken. Umgebungsmerkmale wie z.B. Gebäudekonturen gehören zu den natürlichen Marken. Eines der bekanntesten Beispiele für aktive Technologie ist das GPS-System. Mithilfe der von den GPS-Satelliten abgestrahlten Funksignale wird die aktuelle Position eines FTF bestimmt.[40]

Bei der Navigation stehen verschiedene technische Möglichkeiten zur Verfügung. Gängige Navigationsverfahren sind Navigation auf physische Leitlinie, die Rasternavigation, die Lasernavigation, die Umgebungsnavigation und Funkortung. Mithilfe von vorgegebenen Anforderungen und Kriterien kann ein geeignetes Navigationsverfahren ausgewählt werden.

2.5.2 FTS-Leitsteuerung

Die wesentliche Aufgabe einer FTS-Leitsteuerung besteht darin, die Fahrerlosen Transportfahrzeugen zu koordinieren, die sich im System befinden, um die übertragenen Transportaufträge optimal zu erledigen. Darüber hinaus integriert sie das FTS in die Einsatzumgebung. Nach dem VDI wird eine FTS-Leitsteuerung wie folgt definiert: *„Eine FTS-Leitsteuerung besteht aus Hard- und Software. Kern ist ein Computerprogramm, das auf einem oder mehreren Rechnern abläuft. Sie dient der Koordination mehrerer Fahrerloser Transportfahrzeuge und/oder übernimmt die Integration des FTS in die innerbetrieblichen Abläufe.“*[41]Mithilfe von drahtlosen Kommunikationssystemen verbindet die FTS-Leitsteuerung nicht nur mit der FTF, sondern auch periphere Einrichtungen und Infrastrukturen wie z.B. automatische Türen,

[40] vgl. Ullrich, Albrecht (2019): S. 32

[41] Definition der FTS-Leisteuerung aus VDI 4451-7: Verein Deutscher Ingenieure (2005): S. 20

Tore und Aufzüge.[42]

Abbildung 2-20 zeigt die Funktionsblöcke einer FTS-Leitsteuerung. Das Benutzer-Interface und die Transportauftragsabwicklung sind essentielle Funktionen.

Durch das **Benutzer-Interface** übertragen Benutzer und Auftraggeber Transportaufträge mithilfe verschiedener Verfahren zur Leitsteuerung. Das umfasst nicht nur die Mensch-Maschine-Schnittstelle, sondern auch unterschiedliche Maschine-Maschine-Schnittstellen, um möglichst viele Übertragemöglichkeiten zu ermöglichen.[43]

Die **Transportauftragsabwicklung** beinhaltet drei wesentliche Funktionen, nämlich die Transportauftragsverwaltung, die Fahrzeugdisposition und die Fahrauftragsabwicklung.

1. Die schlüssigen Aufgaben der Transportauftragsverwaltung bestehen darin, die Reihenfolge der Transportaufträge zu ordnen und ihre Ausführbarkeit ständig zu testen. In der Regel werden die Transportaufträge nach ihrer Priorität bzw. ihrer zeitlichen Einplanung eingestuft. Wenn Material an der Abholstelle bereitgestellt und die Übergabestelle aufnahmebereit ist, ist dieser Transportauftrag so genannt ausführbar. Dann wird er für die Fahrzeugdisposition freigegeben.
2. Die Fahrzeugdisposition hat die grundliegende Funktion, das geeignetes FTF für die Transportaufträge jeweils zu ermitteln. Dabei gibt es verschiedene Kriterien wie z.B. der kürzeste Anfahrtsweg zur Abholstelle, Vermeidung von möglichen Staus und/oder Blockungen auf den Fahrstrecken usw. Darüber hinaus sind das Handling von Leerfahrzeugen und die Batteriestrategien auch die wesentlichen Funktionen der Fahrzeugdisposition. Wenn die Leerfahrzeugen einen Auftrag bearbeitet haben und in absehbarer Zeit keinen neuen Auftrag bekommen, wird dafür ein Transportauftrag zu einer Parkposition oder einer Batterieladestation generiert. Es gibt verschiedene Batterieladestrategien. Nach der Art der Batterie, dem Layout und

[42] vgl. Ullrich, Albrecht (2019): S. 60
[43] vgl. Ebenda: S. 64

der Art des Batterieladens wird die geeignete Batterieladestrategie ausgewählt.

3. Die Fahrauftragsabwicklung ist verantwortlich für die Anordnung der Sequenzen von Fahr- und Aktionsaufträgen. Anders als Fahraufträgen sind die Aktionsaufträge mit bestimmten Aktionen verbunden, wie z.B. Lastaufnahme, Lastabgabe. Die Verkehrssteuerung ist auch ein wichtiger Teil der Fahrauftragsabwicklung. Sie sorgt für eine sichere und unbehinderte Fahrt der FTF ohne Kollisionen und Blockaden.
   Bei der Verkehrssteuerung wird in der Regel der Fahrkurs in Blockungsbereiche (Blockstrecken) eingeteilt. Im Allgemein wird nur ein FTF erlaubt, in einen Blockungsbereich einzufahren. Für andere FTF wird dieser Bereich gesperrt.[44]

[44] vgl. Ebenda: S. 64-67

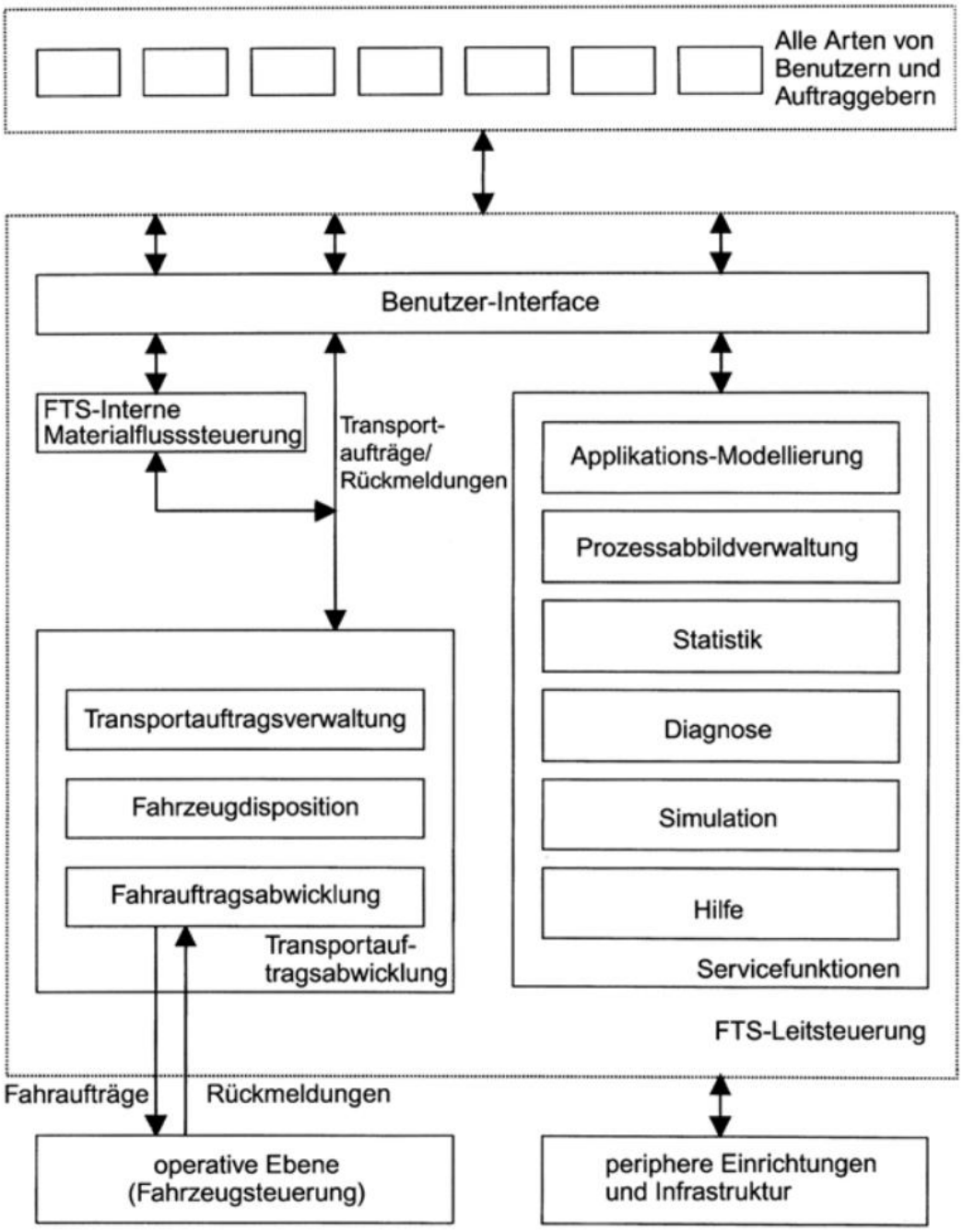

Abbildung 2-20 Funktionsbausteine einer FTS-Leitsteuerung[45]

[45] Abbildung aus VDI 4451-7: Verein Deutscher Ingenieure (2005): S. 25

2.5.3 Typische Anwendungen

Die Zweigbibliothek Naturwissenschaften der Humboldt-Universität ist mit einem fahrerlosen Transportsystem und zwei dazugehörigen Transportrobotern namens „Hase“ und „Igel“ ausgestattet.

Als Navigationsverfahren für FTF wird Lasernavigation eingesetzt. Mithilfe von Laserscannern, die an oberen Enden der langen Hälse von Transportrobotern angebracht sind, können sich die beiden Transportroboter in der Bibliothek orientieren. An den Pfeilern und Wänden sind kleine Reflektoren angebracht. Sie werfen das Laserlicht zurück und sagen dem Scanner, wo sich der Roboter gerade befindet. Zum Personenschutz werden Infrarotsensoren zur Erkennung von im Fahrweg befindlichen Personen eingesetzt. Die Infrarotsensoren an der Vorder- und Rückseite der Roboter erkennen Personen zuverlässig. Sollte sich mal ein Studierender im Weg befinden, stoppen die Transportfahrzeuge sofort und geben akustischer Alarm. Wenn man dann den Weg freigibt, ziehen sie unbeeindruckt weiter ihre Bahnen. Wenn alle Sensoren versagen, gibt es immer noch einen roten Knopf, beziehungsweise einen Not-Aus-Taster, der die Roboter sicher zum Stehen bringt. Zur Bestimmung von Zielorten werden Strichcodes an Bücherkisten eingelesen. Hase und Igel fahren Bücherkisten zwischen verschiedenen Stellen hin und her. Durch einen Strichcode an der jeweiligen Kiste, den die Mitarbeiter vorher anbringen, wird der Zielort angezeigt. Transportroboter lesen den Strichcode automatisch ein und fahren zum angegebenen Zielort. Breitbandfunk wird als Datenübertragungssystem eingesetzt. Dadurch werden Positionsdaten, Fehlerzustände usw. von Transportrobotern zum Leitstand für Visualisierung und Überwachung übertragen. Via Funk wird das Öffnen von Türen und die Bedienung des Fahrstuhls von Robotern völlig selbstständig durchgeführt.[46]

[46] vgl. Schulz, E. (2018): S. 1-2

Abbildung 2-21 „Hase“ und „Igel“[47]

Abbildung 2-22 Rotierender Laser[48]

[47] Abbildung: Dambeck, H. (2011): online
[48] Abbildung: Ebenda

3 Vergleich, Bewertung und Auswahl der Transportsysteme

Dieses Kapitel beschäftigt mit dem Vergleich und der Bewertung der oben genannten bestehenden Fördersysteme zum Buchtransport. Dabei werden Anforderungen an neues Transportkonzept für einen Neubau einer Bibliothek berücksichtigt. Zuerst werden Bewertungsmethoden erläutert und ausgewählt. Weiter wird ein Bewertungskatalog entwickelt, der die verschiedenen Aspekte eines Transportkonzepts im Anwendungsfall der Bibliotheken umfasst. Einzelne Bewertungskriterien werden dabei unterschiedlich gewichtet. Im Anschluss werden der bestehenden Fördersysteme auf Grund der Kriterien bewertet. Daraus kann ein geeignetstes Fördersystem endlich ausgewählt werden.

3.1 Bewertungsmethoden

Bewertungsmethoden werden in Konstruktions- und Entwicklungsprozessen häufig verwendet. Sie dienen dazu, anhand der entwickelten Kriterien aus mehreren Lösungsmöglichkeiten herauszufinden, welche Alternative den Anforderungen am besten erfüllt. Hierbei stehen folgende Bewertungsmethoden zur Auswahl:

Argumentbilanz ist ein sehr einfaches qualitatives Entscheidungsinstrument. Hierbei werden Vor- und Nachteile einzelner Lösungsmöglichkeiten tabellarisch aufgelistet und gegenübergestellt. Vorteil dieser Methode ist ihre einfache Durchführbarkeit, die nur geringen Aufwand braucht. Aufgrund der fehlenden Präzision und der gegenseitigen

Gewichtung der Argumente ist es durch diese Methode sehr schwierig, schlechteste und beste Lösung eindeutig zu ermitteln.

Paarweiser Vergleich ist eine universell einsetzbare und einfach durchzuführende Methode, bei der jeweils zwei Lösungsvarianten anhand von einzelnen Kriterien paarweise miteinander verglichen werden. Daraus werden die Präferenzen je Kriterium ermittelt. Diese Methode eignet sich nur für einfache Entscheidungsaufgaben, da die bei komplexen Situationen sehr hoher Aufwand nach sich zieht.

Nutzwertanalyse stellt einer Vorgehensweise zur Analyse einer Menge komplexer Lösungsalternativen dar. Hierbei werden die Bewertungskriterien nach deren Bedeutung gewichtet. Im Anschluss werden die gewichteten Zielerfüllungsgraden verschiedener Lösungsmöglichkeiten ermittelt. Diese Methode dient der komplexen Auswahl mit einer großen Anzahl relevanter Bewertungskriterien.[49]

Bei der Bewertung und dem Vergleich der bestehenden Fördersysteme werden auch nicht quantifizierbare Ziele in die Entscheidungsfindung mit einbezogen. Darüber hinaus sind die Ziele nicht gleich gewichtet, die durch die zur Bewertung anstehenden Lösungsmöglichkeiten erfüllt werden sollen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Nutzwertanalyse in diesem Fall geeignet ist.

Nutzwertanalyse[50]

Zur Bewertung der Fördersysteme kommt die Nutzwertanalyse zum Einsatz. Der schematische Ablauf der Bewertungsmethode wird in Abbildung 3-1 dargestellt.

[49] vgl. Reichle (2006): S. 41
[50] vgl. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021): online

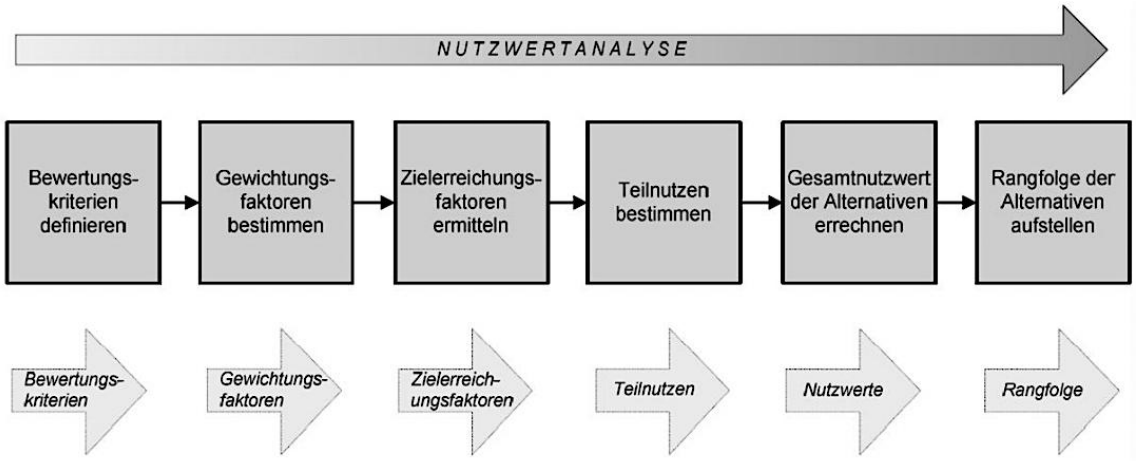

Abbildung 3-1 Methodischer Ablauf der Nutzwertanalyse[51]

Als erstes werden die Kriterien identifiziert, welche für die Entscheidung benötigt werden, um aus mehreren Lösungsalternativen die am besten Geeignete auswählen zu können. Im Anschluss werden diese Kriterien anhand ihrer Bedeutsamkeit durch die Vergabe von Punkten gewichtet. Je höher die Punktzahl, die für ein Kriterium vergeben wird, desto wichtiger und einflussreicher ist es. Die Werteskala für die Gewichtungsfaktoren ist in Tabelle 3-1 dargestellt:

1	2	3
wenig wichtig	wichtig	sehr wichtig

Tabelle 3-1 Werteskala für die Gewichtungsfaktoren[52]

Danach erfolgt die Bewertung der Alternativen. In diesem Schritt wird ermittelt, wie gut eine Lösungsalternative die einzelnen Kriterien erfüllt. Der Grad der Zielerfüllung wird durch den Zielerreichungsfaktor ausgedrückt. Die Werteskala für die Zielerreichungsfaktoren ist in Tabelle 3-2 dargestellt:

[51] Abbildung: HS Bremen (2012): S. 2
[52] Tabelle: Datenquelle: Pichler, T. (2014): S. 98

0	1	2	3	4
unbefriedigend	gerade noch tragbar	ausreichend	gut	sehr gut (ideal)

Tabelle 3-2 Werteskala für die Zielerreichungsfaktoren[53]

Als nächste werden Ergebnisse berechnet. Durch die Multiplikation der Gewichtungsfaktoren mit den Zielerreichungsfaktoren werden für jede Lösungsmöglichkeit die Teilnutzwerte der einzelnen Kriterien errechnet. Der Gesamtnutzwert einer Alternative ergibt sich aus der Summe ihrer Teilnutzwerte. Anhand der Gesamtnutzwerte der einzelnen Lösungsmöglichkeiten wird abschließend eine Rangfolge aufgestellt. Die Alternative, welche die höchste Endpunktzahl aufweist, ist am besten.

3.2 Entwicklung eines Bewertungskatalogs

Auf der Grundlage der erwarteten Anforderungen an neues Transportkonzept für einen geplanten Neubau einer Bibliothek befasst sich dieses Kapitel mit der Ausarbeitung eines Bewertungskatalog. Diese Anforderungen wurden in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der UB Stuttgart gestellt, um der praktischen Anwendung von Bibliotheken besser gerecht zu werden. Zur Auswahl eines geeigneten Fördersystems splittet der Bewertungskatalog sich in die Bereiche Benutzerfreundlichkeit, Einsparung von Ressourcen, zukunftsorientierte Fähigkeiten, Kosten auf. Unter Berücksichtigung des Anwendungsfalls von Bibliotheken und der Zukunftsorientierung werden die im Bewertungskatalog enthaltenen Kriterien nach ihrer Bedeutung gewichtet.

Bewertungskriterien

[53] Tabelle: Datenquelle: Pahl (2007): S. 172

Benutzerfreundlichkeit

Die zur Benutzerfreundlichkeit gehörenden Bewertungskriterien enthalten Anforderungen, die vor allem für die Benutzer von Bibliotheken gestellt werden.

- Sicherheit

Im Anwendungsfall von Bibliotheken spielt der Faktor Sicherheit bei der Auswahl der Transportsysteme eine wichtige Rolle. Hierbei bezieht sich die Sicherheit auf die Personensicherheit, d.h. die Möglichkeit von Kollisionen zwischen Maschinen und Personen (Benutzer und Mitarbeiter) im Transportsystem. Wenn Personen sich in der unmittelbaren Umgebung der Transportsysteme befinden, müssen die Sicherheitsvorkehrungen gegen einen Zusammenstoß mit den Menschen verstärkt sein, um Verletzungen von Personen zu vermeiden.

- Geräusche

In anderen gängigen Einsatzbereichen von Transportsystemen, wie Produktion und Logistik, wird diese Anforderung grundsätzlich nicht berücksichtigt. Dieses Bewertungskriterium muss jedoch beim Anwendungsfall von Bibliotheken betont werden. In Bibliotheken ist eine ruhige Umgebung zum Studieren und Arbeiten notwendig. Daher sollte das Transportsystem in Bibliotheken so wenig Lärm wie möglich verursachen, um die normale Ordnung nicht zu stören. Außerdem sollte das Transportsystem so weit wie möglich vom Studienraum entfernt angeordnet werden.

- Bereitstellungszeit

Für die Bibliotheksbenutzer sollte der Faktor Bereitstellungszeit berücksichtigt werden, da der die Benutzerzufriedenheit erheblich erhöhen kann. Hierbei bezieht sich die Bereitstellungszeit auf die Zeit, die von der Bestellung eines Buches durch Benutzer bis zum Erhalt des Buches erfordert wird. Die Bereitstellungszeit sollte so kurz wie möglich sein. Diese ist abhängig von drei verschiedenen Bereichen. Eine ist die erlaubte maximale Geschwindigkeit, die als ein Bewertungskriterium für die Auswahl eines geeigneten Transportsystems verwendet werden kann. Weiter besteht der Einfluss der Länge von Transportwegen auf die Bereitstellungszeit. Bei der Entwicklung eines Transportkonzepts sollten Transportwege so kurz wie möglich sein. Zusätzlich sollten

die Prozessschritte in einem Transportkonzept vereinfacht werden, da weniger Prozessschritte die Bereitstellungszeit verkürzen können.

- Schonender Transport

Dieser Faktor gilt als ein wichtiges Bewertungskriterium im Anwendungsfall von Bibliotheken. Hierbei sollte das Transportsystem in der Lage sein, das Fördern wertvoller Materialien zu übernehmen, wie z. B. historische Handschriften, Drucke, Karten, Inkunabeln. Dazu ist das Kriterium erforderlich.

Einsparung von Ressourcen

Hierbei beziehen sich die Ressourcen hauptsächlich auf die Raumressourcen, d.h. in einem neuen Transportkonzept sollten Raumressourcen eingespart werden.

- Stationärer Raumbedarf im Gebäude

Die Bibliothek dient hauptsächlich dem Lernen, der Arbeit und der Kommunikation der Benutzer. Dafür sollte das Transportsystem in einem innovativen Konzept möglichst wenig festen Platz erfordern. Einerseits kann eine Einsparung von Raumressourcen realisiert werden. Mehr Platz kann zum Bereichern der Funktionen von Bibliotheken benutzt werden, wie z.B. zum Bau eines Multimediaraums. Gleichzeitig kann die Ästhetik besser befriedigt werden. Andererseits werden sich die stationären Einrichtungen der Förderanlage negativ auf die unten genannte Flexibilität auswirken.

Zukunftsorientierte Fähigkeiten

Diese Anforderung bedeutet, dass Fördersysteme in der Lage sein müssen, sich nicht nur an vorab geplante Änderungen leicht anpassen zu können, sowohl auch auf ungeplante und unvorhersehbare Veränderungen reagieren zu können, was für Bibliotheken zukünftig immer wichtig wird. Es bezieht sich auf das Systemverhalten hinsichtlich Flexibilität und Wandbarkeit.

- Flexibilität

Die Flexibilität ist ein sehr wichtiges Kriterium, das heißt die leichte Anpassungsfähigkeit eines Transportsystems ohne Verlust an Stabilität und Effektivität an vorgedachte

Veränderungen. Werden alle Flexibilitätskriterien zusammengeführt und die gemeinsame Schnittmenge daraus gebildet, ergeben sich folgende Anforderungen zur Auswahl der Fördersysteme, nämlich Layoutflexibilität, Durchsatzflexibilität und Fördergutflexibilität.

- Layoutflexibilität

Fördersysteme sollen in der Lage sein, auf vorab geplante Ortsänderungen in Bibliotheken reagieren zu können, bzw. diese sollen sich schnell auf veränderte Transportwege einstellen können.

- Durchsatzflexibilität

Durchsatzflexible Fördersysteme sollen sich an die geforderten, vorab festgelegten Transportleistungen und Schwankungen leicht anpassen können.

- Fördergutflexibilität

Fördersysteme müssen in der Lage sein, vorab festgelegte Gutspektren (Abmessungen und Gewicht) bzw. -schwankungen transportieren zu können.[54]

- Wandbarkeit

Wandbarkeit kann als die Eigenschaft eines Systems verstanden werden, auf unvorhergesehene und ungeplante Ereignisse zu reagieren oder bislang unbekannte Anforderungen erfüllen zu können. Im Gegensatz zur Flexibilität, bei der Veränderungen im bestimmten Umfang möglich sind, stehen somit bei der Wandelbarkeit eher die unvorhersehbaren Ereignisse im Fokus. Diese gilt als ein sehr bedeutsames Kriterium zur Auswahl zukunftsorientierter Fördersysteme. In Bezug auf die Beschreibung der Wandelbarkeit sollen die Eigenschaften Erweiterungsfähigkeit und Integrationsfähigkeit genannt.

- Erweiterungsfähigkeit

Unter Erweiterungsfähigkeit wird die Möglichkeit verstanden, ein bestehendes Fördersystem durch Hinzufügen von systemeigenen Bauteilen und Fahrzeugen zu erweitern, um auf ungeplante Veränderungen reagieren zu können. Die Erweiterungsfähigkeit bedeutet eine Erhöhung der drei Flexibilitätskriterien. In Bezug

[54] vgl. Heinecker, M. (2006): S. 68-69

auf die Layoutflexibilität sollten bei einer zukünftigen Vergrößerung des Einsatzbereiches sowohl neue Bereiche als auch zusätzliche Übergabeplätze innerhalb bestehender Bereiche bedient werden können. Bei einer extremen Nachfragesteigerung kann die Durchsatzflexibilität durch das Hinzufügen von systemeigenen Fahrzeugen oder Behältern ermöglicht werden, wogegen die Fördergutflexibilität z.B. durch den Austausch des Lastaufnahmemittels erreicht werden kann.

- Integrationsfähigkeit

Besteht keine Möglichkeit das bestehende Fördersystem durch systemeigene Bauteile oder Fahrzeuge an die neuen Bedingungen und Anforderungen anzupassen, muss in diesem Fall das Fördersystem durch weitere, fremde Systeme oder Komponente ergänzt werden. Im diesem Fall wird von Integrationsfähigkeit gesprochen. Die Integrationsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit, technische und steuerungstechnische Verbindungen mit anderen Systemen oder Komponenten eingehen zu können. Eine gezielte Erhöhung aller drei Flexibilitätskriterien ist möglich, um damit das Fördersystem an veränderte Anforderungen anpassen zu können, die vorab nicht geplant oder berücksichtigt wurden. Somit ist die Integrationsfähigkeit auch ein erforderliches Bewertungskriterium.[55]

<u>Kosten</u>

Der Faktor Kosten sollte bei der Bewertung der Fördersysteme berücksichtigt werden. Das Transportwesen in Bibliotheken erzielt keine direkten Einnahmen. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung kann sich folglich auf den Vergleich der Auszahlungen für die verschiedenen Fördertechnik-Alternativen beschränken. Dabei schneidet die Alternative am besten ab, die die geringsten Kosten erfordert. In einer Unterteilung der Auszahlungen im Anwendungsfall von Bibliotheken wird zwischen Investitionskosten und Betriebskosten unterschieden.

- Investitionskosten

[55] vgl. Ebenda: S. 69-71

Zu den Investitionskosten gehören alle mit der Anschaffung eines Transportsystems verbundenen Zahlungen. Darin enthalten sind sämtliche Anschaffungsauszahlungen für die Anlagen, Fahrzeugen, die Leitsteuerung sowie alle projektbezogenen Dienstleistungen (wie Engineering, Installation, Inbetriebnahme, Dokumentation und Schulung) und ggf. Systemperipherie.

- Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen die Zahlungen, die mit dem Betrieb bzw. mit dessen Aufrechterhaltung zu tun haben, das heißt laufende Kosten über die Nutzungsdauer, z.B. Energie, Wartung und Instandhaltung.[56]

Die weiteren zwei Anforderungen sind die Automatisierung und das bidirektionale Anfahren. Die in Kapitel 2 erwähnten Handbücherwagen und Förderbandanlagen erfüllen diese Forderungen offensichtlich nicht. Im Folgenden kann sich somit die Auswahl einer geeigneten Fördertechnik für ein neues Transportkonzept auf die Bewertung der Behälterförderanlagen (BFA), Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern (FSB) und FTS beschränken. In Tabelle 3-3 wird der Bewertungskatalog schematisch dargestellt.

[56] vgl. Ullrich, G. (2021): S. 57

Bewertungskriterien	Gewichtung	Transportsysteme					
		BFA		FSB		FTS	
Benutzerfreundlichkeit							
Sicherheit	G	B	E	B	E	B	E
Geräusche	G	B	E	B	E	B	E
Bereitstellungszeit	G	B	E	B	E	B	E
Schonender Transport	G	B	E	B	E	B	E
Zwischenpunkte		ZP		ZP		ZP	
Einsparung von Ressourcen							
Stationärer Raumbedarf	G	B	E	B	E	B	E
Zwischenpunkte		ZP		ZP		ZP	
Zukunftsorientierte Fähigkeiten							
Flexibilität							
Layoutflexibilität	G	B	E	B	E	B	E
Durchsatzflexibilität	G	B	E	B	E	B	E
Fördergutflexibilität	G	B	E	B	E	B	E
Wandbarkeit							
Erweiterungsfähigkeit	G	B	E	B	E	B	E
Integrationsfähigkeit	G	B	E	B	E	B	E
Zwischenpunkte		ZP		ZP		ZP	
Kosten							
Investitionskosten	G	B	E	B	E	B	E
Betriebskosten	G	B	E	B	E	B	E
Gesamtpunkte		GP		GP		GP	

Tabelle 3-3 Schema des Bewertungskatalogs[57]

[57] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung

Gewichtung

Unter Berücksichtigung des Anwendungsfalls von Bibliotheken und Anforderungen von Mitarbeitern der UB Stuttgart kann die Gewichtung der Kriterien des Kataloges vorgenommen werden. Tabelle 3-4 zeigt den Bewertungskatalog mit den Gewichtungspunkten für jedes Kriterium, wobei wie vorhin erwähnt der Bereich von 1 (wenig wichtig), über 2 (wichtig) bis 3 (sehr wichtig) geht.

Benutzerfreundlichkeit

Obwohl der Faktor Sicherheit für die Bewertung der Fördertechnik erforderlich ist, gilt er nur als eine grundsätzliche Anforderung, die jedes Transportsystem erfüllen muss. Somit wird die Sicherheit für innovative Transportkonzepte mit 2 gewichtet. Im Anwendungsfall von Bibliotheken ist der Faktor Geräusche ein sehr wichtiges Bewertungskriterium. Wie bereits vorhin erwähnt, muss eine ruhige Umgebung in Bibliotheken gewährleistet sein. Daher bekommt dieser Faktor die Gewichtung 3. Die Bereitstellungszeit sollte bei der Bewertung berücksichtigt werden, insbesondere wenn ein hohes Transportaufkommen vorliegt. Dazu werden eine hohe Geschwindigkeit, kurze Transportwege und wenige Prozessschritte benötigt. Da das Transportwesen in Bibliotheken keine direkten Einnahmen erzielt, wird dieser Faktor mit 2 gewichtet. Die Transportaufgabe in Bibliotheken umfasst das Fördern weitvoller Materialien. Somit wird der Faktor schonender Transport mit der Gewichtung 3 versehen.

Einsparung von Ressourcen

Ein weniger stationärer Raumbedarf von Förderanlagen im Gebäude ist für die Anwendung in Bibliotheken erforderlich, da die Haupttätigkeit in Bibliotheken nicht der Transport ist. Die Raumressourcen in Bibliotheken sollten gespart werden, um Orte zum Lernen und Lesen anzubieten. Deshalb wird dieser Faktor mit 3 gewichtet.

Zukunftsorientierte Fähigkeiten

Diese Fähigkeiten können durch die Flexibilität und die Wandbarkeit dargestellt werden.

Diese Beiden sind von großer Bedeutung für eines innovative Transportkonzept. Mithilfe von der Flexibilität kann ein Transportsystem die vielfältigen Varianten in Bezug auf Layout, Durchsatz und Fördergut einfach ermöglichen, was die Vielfalt und die Stabilität von Bibliotheksfunktionen erheblich erhöhen kann. Mithilfe von der Erweiterungs- und der Integrationsfähigkeit kann ein Transportkonzept auf die unbekannten Anforderungen und Veränderungen in der Zukunft leicht reagieren. Diese kann für die zukünftige Entwicklung und die Optimierung der Bibliothek mehr Möglichkeiten bieten. Daher werden nicht nur drei Flexibilitätskriterien sowohl auch zwei Wandbarkeitskriterien mit der Gewichtung 3 versehen.

Kosten

Bei der Planungsphase sind die Investitionskosten zu einem innovativen Transportkonzept für einen geplanten Neubau einer Bibliothek nicht entscheidend. Dabei spielen die Erfüllung von Anforderungen und die Realisierung von Funktionen relativ größere Rollen, weshalb diese mit 1 gewichtet werden. Unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit sollte der Faktor Betriebskosten höher als der Faktor Investitionskosten gewichtet werden. Somit wird er mit der Gewichtung 2 versehen.

Bewertungskriterien	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	
Sicherheit	2
Geräusche	3
Bereitstellungszeit	2
Schonender Transport	3
Zwischenpunkte	
Einsparung von Ressourcen	
Stationärer Raumbedarf	3
Zwischenpunkte	
Zukunftsorientierte Fähigkeiten	
Flexibilität	
Layoutflexibilität	3
Durchsatzflexibilität	3
Fördergutflexibilität	3
Wandbarkeit	
Erweiterungsfähigkeit	3
Integrationsfähigkeit	3
Zwischenpunkte	
Kosten	
Investitionskosten	1
Betriebskosten	2
Gesamtpunkte	

Tabelle 3-4 Gewichteter Bewertungskatalog[58]

[58] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung

3.3 Systemauswahl

Anhand der bereits in Kapitel 2 erwähnten Analyse der Transportsysteme können die automatisierten Varianten BFA, FSB und FTS mithilfe vom entwickelten Bewertungskatalog und der Nutzwertanalyse bewertet werden. Daraus kann schließlich das am besten geeignete automatisierte Transportsystem für eine innovative Transportlösung ausgewählt werden.

Die Bewertung erfolgt dabei größtenteils subjektiv, da die meisten Kriterien nicht in Zahlen gefasst werden können. Dabei sind die Übergänge fließend: Ob beispielweise ein Ergebnis gerade noch *gut* ist, oder doch eher *ausreichend*, lässt sich nicht mit Bestimmtheit festlegen. Somit entspricht das Ergebnis der Nutzwertanalyse allgemein eher einem Trend als einem mathematischen exakten Wert.

Die Bewertung und die Auswahl werden im Folgenden erläutert.

<u>Benutzerfreundlichkeit</u>

Jedes System ist mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet, um Verletzungen von Personen zu vermeiden. Bei BFA und FSB sind Transportwege von den Verkehrsbereichen von Personen getrennt, während bei FTS FTF mit Menschen die gleichen Verkehrsfläche zusammen benutzen. Aus dieser Perspektive ist die Möglichkeit von Kollisionen mit Personen bei FTS relativ größer. Somit werden FTS mit 3 und die beiden anderen Systeme mit 4 bewertet. Laut der Analyse des Telelift-Systems verursachen FSB weniger Lärm. Aus Richtlinie VDI 2510 ist ersichtlich, dass FTS relativ geräuscharm sind[59], weshalb das Kriterium Geräusche in BFA mit 2 und in FSB sowie FTS mit 4 erfüllt wird. Bei BFA werden komplizierte Umlauf- bzw. Paternoster-Aufzüge für die Förderung über mehrere Stockwerke benötigt. Komplexe Systeme erfordern mehr Zeit zur Bereitstellung. Bei FSB und bei FTS beträgt beides die

[59] vgl. VDI 2510 (2005): S. 4

typische Höchstgeschwindigkeit 1m/s.[60] In FTS ist jedoch eine zusätzliche Integration mit Aufzügen erforderlich. Somit wird das Kriterium aus dieser Sicht in FSB mit der höchsten Stufe 4 erfüllt, während das in FTS mit 3 und in BFA mit 2 erfüllt wird. Nach VDI 2510 verfügen FTS über die Fähigkeit, Transportschäden zu minimieren.[61] Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, wurde das UniSafeCar™ bei FSB speziell für das Handling von sensiblen Gütern entwickelt.[62] Deshalb bekommen diese Beiden die Bewertung 4 und BFA werden mit 3 bewertet. Die Bewertungsergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit werden in Tabelle 3-5 dargestellt.

Bewertungskriterien	Gewichtung	Transportsysteme					
		BFA		FSB		FTS	
Benutzerfreundlichkeit							
Sicherheit	2	4	8	4	8	3	6
Geräusche	3	2	6	4	12	4	12
Bereitstellungszeit	2	2	4	4	8	3	6
Schonender Transport	3	3	9	4	12	4	12
Zwischenpunkte		27		40		36	

Tabelle 3-5 Bewertungsergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit[63]

Einsparung von Ressourcen

Nach der in Kapitel 2 erwähnten Analyse haben BFA aufgrund der starren Förderbänder und der Umlaufaufzüge einen sehr hohen stationären Raumbedarf im Gebäude. Im Vergleich zu BFA erfordern FSB infolge der geringen Abmessungen der Anlagen weniger festen Platz. Laut der Richtlinie VDI 2510 können FTS vorhandene Fahrwege benutzen und in der Regel brauchen FTS keine zusätzliche Verkehrsflächen.[64] Daher ist das FTS im Gegensatz zu anderen Transportsystemen am platzsparendsten. Dazu werden FTS folglich mit der Bewertung 4 versehen, während FSB mit 2 und BFA mit 0

[60] vgl. Ebenda: S.5
[61] vgl. Ebenda: S. 4
[62] vgl. Telelift (2021): online
[63] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung
[64] vgl. VDI 2510 (2005): S. 4

bewertet werden. Die Bewertungsergebnisse zur Einsparung von Ressourcen werden in Tabelle 3-6 dargestellt.

Einsparung von Ressourcen							
Stationärer Raumbedarf	3	0	0	2	6	4	12
Zwischenpunkte		27		46		48	

Tabelle 3-6 Bewertungsergebnisse zur Einsparung von Ressourcen[65]

Zukunftsorientierte Fähigkeiten

Die Transportsysteme werden zunächst anhand von drei Flexibilitätskriterien bewertet. Entsprechend dem oben genannten stationären Raumbedarf im Gebäude können die Bewertungspunkte der Transportsysteme zur Layoutflexibilität vergeben werden. Im Vergleich zu den beiden anderen Systemen können FTS sich an vorab geplante Veränderungen des Layouts bzw. der Transportwege leichter anpassen. Aufgrund des bausteinartigen Anlagenbaus und einer schlanken Streckenführung können FSB auch die Transportwege relativ schnell verändern. Deshalb werden FTS mit 4, FSB mit 3 und BFA mit 0 bewertet. Basierend auf Behälterspeicher können BFA auf vorab festgelegte wechselnde Transportleistungen reagieren. Die Anzahl der Wagen bei FSB und bei FTS kann entsprechend dem schwankenden Transportaufkommen leicht eingestellt werden. Im Vergleich zu FSB verfügen FTS jedoch über einen höheren Freiheitsgrad. Somit werden FTS mit 4 bewertet und die beiden anderen Systeme werden mit der Bewertung 3 versehen. Nach der Richtlinie VDI 2510 bietet das FTS zum Transport unterschiedlicher Güter von allen vergleichbaren automatischen Fördermitteln die höchste Flexibilität.[66] Im Gegensatz zu FSB können die Behälter bei BFA zur Aufnahme verschiedener Fördergüter einen höheren Freiheitsgrad bieten. Somit werden FTS mit 4, BFA mit 2 und FSB mit 1 bewertet. Weiter wird die Wandbarkeit der Transportsysteme bewertet. Basierend auf den analysierten Eigenschaften können FTS einfach erweitert

[65] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung
[66] vgl. VDI 2510 (2005): S. 4

werden und in der Lage sein, unterschiedliche Komponenten zu integrieren, um auf ungeplante Veränderungen zu reagieren. Aufgrund des bausteinartigen Analgenbaus können FTB zur Erweiterung und Integration im Gegensatz zu BFA mehr Möglichkeiten anbieten. Zu den zwei Kriterien der Wandbarkeit werden FTS folglich mit 4, FSB mit 2 und BFA mit 1 bewertet. Die Bewertungsergebnisse zu den zukunftsorientierten Fähigkeiten werden in Tabelle 3-7 dargestellt.

Zukunftsorientierte Fähigkeiten							
Flexibilität							
Layoutflexibilität	3	0	0	3	9	4	12
Durchsatzflexibilität	3	3	9	3	9	4	12
Fördergutflexibilität	3	2	6	1	3	4	12
Wandbarkeit							
Erweiterungsfähigkeit	3	1	3	2	6	4	12
Integrationsfähigkeit	3	1	3	2	6	4	12
Zwischenpunkte		48		79		108	

Tabelle 3-7 Bewertungsergebnisse zu den zukunftsorientierten Fähigkeiten[67]

<u>Kosten</u>

Aufgrund von der Anschaffung wertvoller Einrichtungen wie z.B. Fahrzeuge und die Leitsteuerung werden hohe Investitionskosten bei FTS gefordert. Ähnlich wie bei FTS erfordern bei BFA die Installation und Inbetriebnahme komplizierter fester Anlagen hohe Investitionskosten. Im Vergleichen dazu können die Investitionskosten bei FSB besser kontrolliert werden. Somit werden FSB mit 4 bewertet und die beiden anderen Systeme werden mit der Bewertung 2 versehen. Infolge anfälliger Umlauf-Aufzüge werden bei BFA die Kosten zur Wartung und der Instandhaltung steigen.[68] Ebenfalls sind bei FTS wegen der Störanfälligkeit die hohen Zahlungen zur Aufrechterhaltung notwendig. Beim

[67] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung
[68] vgl. Naumann, U. (2013): S. 28

FTS können jedoch relativ mehr Maßnahmen ergriffen werden, um die Betriebskosten zu kontrollieren. Im Vergleichen dazu verfügen FSB ein stabileres System. Somit werden FSB mit 4, FTS mit 3 und BFA mit 2 bewertet. Die Bewertungsergebnisse zu den Kosten werden in Tabelle 3-8 dargestellt.

Kosten							
Investitionskosten	1	2	2	4	4	2	2
Betriebskosten	2	2	4	4	8	3	6

Tabelle 3-8 Bewertungsergebnisse zu den Kosten[69]

Betrachtet man nun die Tabelle 3-9, so sieht man, dass die höchste Bewertungspunktzahl beim FTS akkumuliert wird. Was für dieses System spricht (im Gegensatz zu allen anderen), sind seine konstant guten bis sehr guten Eigenschaften in allen Bereichen. Die BFA kann weder die Raumressourcen einsparen noch sich an zukünftige Veränderungen gut anpassen. Die FSB kann als Referenz bei den Kriterien der Benutzerfreundlichkeit und der Kosten, ist jedoch nicht in der Lage die hochgewichteten und zukunftsorientierten Anforderungen vollständig zu erfüllen. Somit fällt die Wahl letztendlich auf das fahrerlose Transportsystem (FTS).

[69] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung

Bewertungskriterien	Gewichtung	Transportsysteme					
		BFA		FSB		FTS	
Benutzerfreundlichkeit							
Sicherheit	2	4	8	4	8	3	6
Geräusche	3	2	6	4	12	4	12
Bereitstellungszeit	2	2	4	4	8	3	6
Schonender Transport	3	3	9	4	12	4	12
Zwischenpunkte		27		40		36	
Einsparung von Ressourcen							
Stationärer Raumbedarf	3	0	0	2	6	4	12
Zwischenpunkte		27		46		48	
Zukunftsorientierte Fähigkeiten							
Flexibilität							
Layoutflexibilität	3	0	0	3	9	4	12
Durchsatzflexibilität	3	3	9	3	9	4	12
Fördergutflexibilität	3	2	6	1	3	4	12
Wandbarkeit							
Erweiterungsfähigkeit	3	1	3	2	6	4	12
Integrationsfähigkeit	3	1	3	2	6	4	12
Zwischenpunkte		48		79		108	
Kosten							
Investitionskosten	1	2	2	4	4	2	2
Betriebskosten	2	2	4	4	8	3	6
Gesamtpunkte		54		91		116	

Tabelle 3-9 Übersicht der Bewertungsergebnisse[70]

[70] Tabelle: Datenquelle: eigene Darstellung

4 Erarbeitung eines neuartigen Konzepts

Ausgehend vom letzten Kapitel ist das FTS für die Automatisierung der Transportlogistik in Bibliotheken am besten geeignet, um den gestellten Anforderungen maximal erfüllen zu können. In diesem Kapitel wird somit mithilfe vom FTS ein innovatives Konzept für einen geplanten Neubau einer Bibliothek entwickelt. Dazu sollte zunächst ein Anwendungszustand analysiert und bestimmt werden. Unter Berücksichtigung der oben genannten Anforderungen und Kriterien könnten anschließend die Ideen zur Automatisierung umfangreich vorgestellt und einige Probleme für eine Umsetzung sowie dazu die Lösungsmöglichkeiten beschrieben werden. Schließlich sollte das Potenzial des erarbeiteten Konzepts eingeschätzt werden.

4.1 Festlegung eines Anwendungszustands

Zur Erarbeitung eines Konzepts wird die Festlegung eines Anwendungszustands als die notwendige Voraussetzung angesehen. Zuerst sollte die grundlegende Transportlogistik in Bibliotheken im Folgenden analysiert und dargestellt werden. Für die Entwicklung eines geeigneten Konzepts sollten dann die räumlichen Vorgaben und Randbedingungen erarbeitet werden.

4.1.1 Transportlogistik in Bibliotheken

Zunächst sollte das behandelte Fördergut bei der Transportlogistik in Bibliotheken bestimmt werden. Bei den Objekten, deren Transport in Bibliotheken auf

Automatisierbarkeit untersucht werden soll, handelt es sich hauptsächlich um konventionelle Medien mit verschiedenen Formaten, wie z.B. Bücher, CDs, Handschriften, Karten, Mikroformen usw. Sie alle erfordern einen schonenden Transport.

Anschließend sollte die Transportlogistik in Bibliotheken analysiert werden. In der Regel beinhaltet diese Transportlogistik die drei grundlegenden Betriebsabläufe von Bibliotheken, nämlich der Medieneingang, die Medienbereitstellung und die Medienrückgabe,[71] deren Automatisierungsmöglichkeiten in diesem Kapitel als Schwerpunkt untersucht werden. Im Folgenden werden die drei Betriebsabläufe jeweils beschrieben.

Medieneingang:

Die bei Lieferanten beschaffte oder aus anderen Bibliotheken ferngeliehene Medien werden von der Poststelle empfangen. Diese Medien werden dann in die Bearbeitungsstation gebracht, wo ihre Informationen in das Bibliothekssystem eingegeben werden. Danach werden die vorgemerkten Medien an die Leihstelle transportiert und dort von Benutzer entnommen. Die restlichen Medien gehen entsprechend in die verschiedenen Bereiche von Bibliotheken, wie z.B. in das Magazin, in den Freihandbereich usw. Dieser Ablauf ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

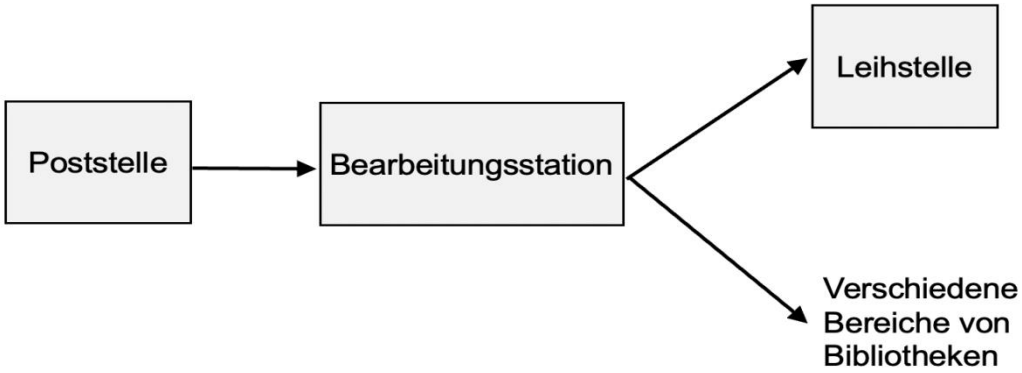

Abbildung 4-1 Medieneingang[72]

[71] mit Hilfe von Mitarbeitern der UB Stuttgart
[72] Abbildung: eigene Darstellung

Medienbereitstellung:

Wenn die im Magazin angeordneten Medien von Benutzern bestellt werden, werden diese bestellten Medien zunächst entsprechend der Bestellungsreihenfolge aus ihren Standorten im Magazin entnommen. Dann werden diese Medien der Reihe nach in die Leihstelle gebracht. Dieser Ablauf ist in Abbildung 4-2 dargestellt.

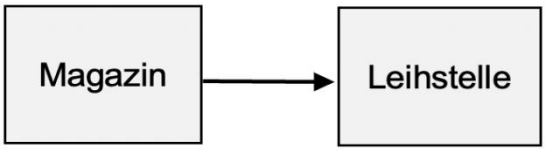

Abbildung 4-2 Medienbereitstellung[73]

Medienrückgabe:

Die Medien werden an der Rückgabestation entgegengenommen. Danach werden die zurückgegebenen Medien nach Standorten und weiteren definierten Kriterien wie z.B. vorgemerkte Medien sortiert. Die vorgemerkten Medien werden dann in die Leihstelle gebracht, während die anderen bis zu ihren finalen Standorten im Präsenzbereich oder Magazin transportiert werden. Dieser Ablauf ist in Abbildung 4-3 dargestellt.

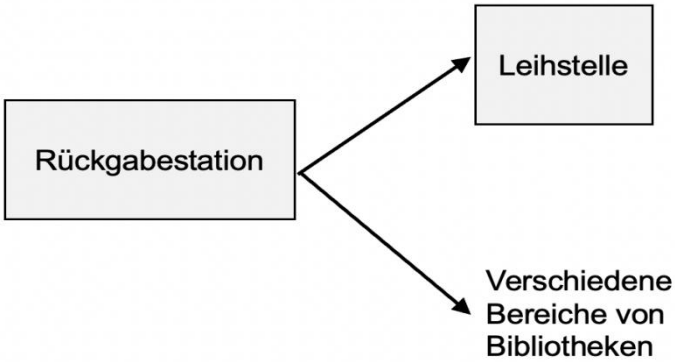

Abbildung 4-3 Medienrückgabe[74]

[73] Abbildung: eigene Darstellung
[74] Abbildung: eigene Darstellung

Neben den oben genannten grundlegenden Betriebsabläufen beinhaltet die Transportlogistik in Bibliotheken auch andere Medientransportabläufe. Beispielweise könnten Medien aus jedem Bereich einer Bibliothek zum Brauchen in die Buchbinderei oder zur Digitalisierungsstation gebracht werden. Die Entwicklung eines Konzepts für die Automatisierung dieser Abläufe wird in diesem Kapitel nicht als Schwerpunkt betrachtet.

4.1.2 Ein Platzsystem von Bibliotheken

Zur Entwicklung eines Konzepts für die Automatisierung der Transportlogistik in Bibliotheken sollte ein grundlegendes Platzsystem von Bibliotheken erarbeitet werden, das zwei Stockwerke und die zum täglichen Betrieb von Bibliotheken erforderlichen Raumbereiche enthält. Die Liste dieser Raumbereiche ist wie folgt:[75]

- Eingangsbereich (Foyer)
- Lesesaal
- Ausleihbereich
- Magazin
- Bearbeitungsstation
- Poststelle
- Freihandbereich
- Rückgabebereich
- Sortierbereich
- Aufzüge

Die Aufzüge sollten in zwei Arten unterteilt werden. Eine ist für Nutzer von Bibliotheken (Personenaufzug) und die andere ist speziell für die FTF sowie Mitarbeiter (Lastenaufzug) ausgestattet. Für FTF sind Lesesaal, Magazin, Freihandbereich, Rückgabebereich und Personenaufzüge nicht zugänglich. Neben diesen sind weitere Raumbereiche zugänglich. Unter Berücksichtigung der Sicherheit sollte der

[75] vgl. Naumann, U. (2009): S.51

Fahrzeugverkehr vom Personenverkehr getrennt sein. Aus diesem Grund sollten der Lesesaal und der Freihandbereich im ersten Obergeschoss eingerichtet werden. Um das Prinzip des kürzesten zielorientierten Transportwegs zu folgen, sollten die zusammengehörigen Raumbereiche möglichst zusammen angeordnet werden. Ein mögliches Layout eines Platzsystem von Bibliotheken ist in Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 dargestellt. Der PB in Abbildung 4-4 ist ein Parkbereich speziell für leere FTF.

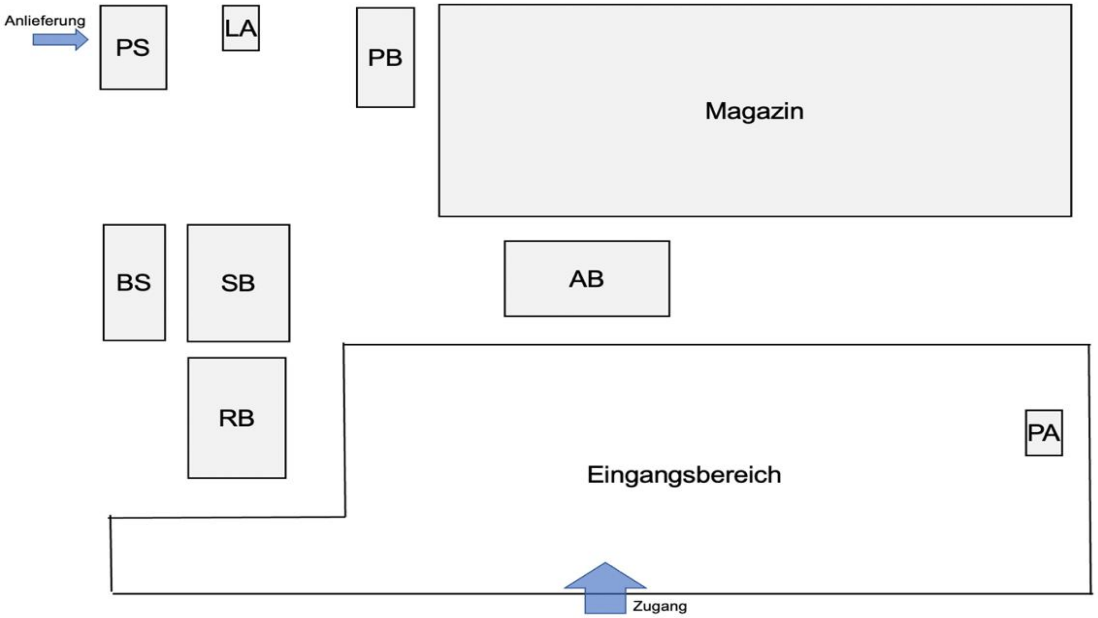

Abbildung 4-4 Layout eines Platzsystems von Bibliotheken ---- Erdgeschoss[76]

[76] Abbildung: eigene Darstellung

Abbildung 4-5 Layout eines Platzsystems von Bibliotheken ---- 1. Obergeschoss[77]

Für eine Umsetzung der Automatisierungsmöglichkeiten der Transportlogistik in Bibliotheken sollten die Randbedingungen zu einem Platzsystem erarbeitet werden. Beim Einsatz von FTF im innerbetrieblichen Transport müssen gewisse Fahrwegbreiten eingehalten werden. Diese Breiten ermitteln sich aus der Breite des FTFs und einem Randzuschlag auf beiden Seiten von 0,50 m bei Fahrzeugverkehr. Führen Fahrzeugverkehr und Fußgängerverkehr über einen Weg, muss ein Randzuschlag von 0,75 m pro Seite gerechnet werden. Wenn auch Gegenverkehr vorkommen kann, muss zusätzlich ein Begegnungszuschlag von 40 cm eingeplant werden.[78] Darüber hinaus sollten die erforderlichen Deckenhöhen des Magazins geplant werden, um automatisierte Lagersysteme wie z.B. Hochregallager einsetzen zu können.

4.2 Ein neuartiges Konzept mittels FTS

Auf der Basis der festgelegten Transportlogistik und eines Raumsystems einer Bibliothek kann ein neuartiges Konzept mittels FTS entwickelt. Die automatisierten Möglichkeiten für die drei grundlegenden Betriebsabläufe werden detailliert vorgestellt. Darüber hinaus werden die Lösungen zur Navigation der FTF und zum Personenschutz

[77] Abbildung: eigene Darstellung
[78] vgl. VDI 2510-1 (2009): S. 10

beschrieben. Schließlich wird das Potenzial dieses neuen Konzepts eingeschätzt.

4.2.1 Vorstellung eines neuartigen Konzepts

Wie im vorigen Kapitel erwähnt sollte die Automatisierung der bibliothekarischen Transportlogistik bei einem geplanten Neubau einer Bibliothek mittels FTS realisiert werden. Beim Einsatz eines FTS sind die Förderhilfsmittel zum schonenden Transport von Medien erforderlich. Sie sind alle Packmittel, die im Rahmen des Be- und Entladens, des Lagerns und des Transportierens dem Schutz von Fördergut dienen. Im Bibliotheksbereich handelt es sich hauptsächlich um Behälter oder Federwagen, die beiden über einen Federboden verfügen und achtsame Aufnahme sowie Transport von Medien aufweisen. Unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen ist die Idee, das heißt, nur Behälter würden verwendet werden, schwierig realisierbar. Zum einen ist die Verkoppelung zwischen der Sortieranlage mit Behältern und einem FTS kaum umsetzbar. Diese kann in der Regel beim Einsatz einer mit Förderbändern Behälterförderanlage als Transporttechnik geschafft werden, wie in Kapitel 2.3.2 genannt. Zudem würden in diesem Fall die sortierten Medien in Behältern entsprechende Zielorte erreichen. Bestände, wie z.B. Freihandbestände, die manuell verfahren werden sollen, müssen vor Ort zur Einsortierung in die Regale noch einmal manuell umgepackt werden. Auch die Lösung, das heißt, nur Federwagen würden eingesetzt werden, wurde aus verschiedenen Gründen gleichzeitig ausgeschlossen. Zum einen ist es mithilfe von Federwagen unmöglich, dass die Medien direkt an die Arbeitsstationen der Bibliotheksmitarbeiter versorgt werden. Daher ist diese Lösung nicht ergonomisch. Außerdem ist die automatisierte Ausgabe bestellter bzw. vorgemerkter Medien an der Leihstelle bei der Verwendung von Federwagen ohne manuelle Eingriffe kaum realisierbar. Somit kann gesagt werden, dass in einem neuartigen Konzept sowohl Behälter als auch Federwagen zur Koppelung der Komponenten eines bibliothekarischen Logistikkreislaufs eingesetzt werden.

Zur Übernahme von Transportaufgaben in einer Bibliothek stellt das FTS verschiedene FTF zur Verfügung. Die Bauformen von FTF sind abhängig von den zu transportierenden Lasten und den betrieblichen Gegebenheiten.[79] Entsprechend der konstruktiven Gestaltung der Lastaufnahme lassen FTF sich grundsätzlich unterschieden in lastziehende und lasttragende Fahrzeuge. Die Letztere kann weiterhin in Fahrzeuge mit passiver Lastaufnahme und mit aktiver Lastaufnahme unterteilt werden.[80] Unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen wird eine aktive Lastaufnahme bevorzugt, da eine bessere Flexibilität damit ermöglicht werden kann. Dazu können verschiedene Lastaufnahmemittel wie z.B. Gabel, Hubtisch, Rollenbahn usw. für unterschiedliche Ladeeinheiten auf FTF integriert werden.[81] Wie bereits erwähnt werden sowohl Behälter als auch Federwagen als Ladeeinheiten eingesetzt. Dafür kann ein neuartiges FTF mit Hubtisch zum Handling der Beiden entwickelt werden. Diese FTF können über zwei spezielle Modus verfügen. Wenn ein Behälter in einem Transportauftrag gefördert werden sollte, wird das Hubtisch auf eine ergonomische Höhe angehoben, die den direkt mit den Arbeitsstationen der Bibliotheksmitarbeiter verbundenen Lastübergabestationen entspricht. Dort wird der Behälter zum Transport angehoben. Wird das Handling eines Federwagens angefordert, schaltet das FTF automatisch in einen anderen Modus. Das Hubtisch wird auf Basis der ursprünglichen Form in Längsrichtung erweitert, um sich der Größe der Federwagen anzupassen und ihnen während des gesamten Transportvorgangs stabil zu halten. Ähnlich wie das in der Kliniklogistik eingesetzte FTF wird das neuartige FTF bei Lastübergabestationen den Federwagen unterfahren, ihn wenige Zentimeter vom Boden aufheben und ihn zu seinem Ziel fahren. Die Lastübergabestationen für Federwagen können mit Leitblechen auf dem Boden markiert und mit Belegtsensoren ausgestattet sein.[82] Bei Übergabestationen für Behälter können Kettenförderer zur kontinuierlichen Versorgung eingesetzt, welche drei bis vier Behälter aufnehmen und somit als Puffer dienen können.

[79] vgl. VDI 2510 (2005): S. 7
[80] vgl. Ebenda: S. 8
[81] vgl. Ebenda: S. 10
[82] vgl. Ullrich, Albrecht (2019): S. 184

Von der Poststelle aus werden die Medien durch die Bearbeitungsstation und in die verschiedenen Bereiche einer Bibliothek transportiert. Die in der Poststelle empfangenen Medien können vom Bibliothekspersonal manuell in einen an der Übergabestation befindlichen Behälter angelegt werden. Wenn der Behälter völlig beladen wird, löst der Mitarbeiter durch ein Eingabeterminal einen Transportauftrag aus. Ein FTF wird diesen Behälter zu einem Kettenförderer fahren, der an der Bearbeitungsstation angeschlossen ist. Anschließend werden die Medien vom Personal entnommen, bearbeitet und jeweils mit einem RFID-Tag versehen. Danach kann die Sortierung von Medien mittels RFID-Technik von einer Sortieranlage automatisiert durchgeführt werden. Die Koppelung der Bearbeitungsstation und dem Sortierbereich kann über Rollenbahnen und Förderbänder geschafft werden. Eine Voraussetzung dafür ist, dass der Abstand zwischen der Bearbeitungsstation und dem Sortierbereich möglichst gering sein soll, um den Raum einer Bibliothek möglichst wenig einzunehmen. Die Medien werden in Federwagen sortiert und dann in entsprechende Zielorte gebracht. Damit die Ausgabe der vorgemerkten Medien im Ausleihbereich automatisiert geschafft werden kann, könnte eine Vorsortierung in Behälter vor dem Ausleihvorgang durchgeführt werden. Dazu kann eine Kommissionierungsstation eingerichtet werden. Dort werden vorgemerkte Medien aus Federwagen entnommen, anhand Bestellungsaufträge kommissioniert und nach der Reihenfolge in Behälter gelegt. Wenn die Zusammenstellung eines Auftrags abgeschlossen ist, wird der Behälter von einem FTF in den Ausleihbereich transportiert.

Für die Lagerung von Magazinbeständen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl, wie z.B. Fachbodenregale, verschiebbare Rollschränke, Automated Storage and Retrieval Systems (ASRS) usw.[83] Favorisiert wird ein ASRS. Die Vorteile in der hochverdichteten, automatisierten Magazinierung sind ein wesentlich geringerer Flächenverbrauch, je nach Einstellung des Systems eine maximale Ausnutzung der zur

[83] vgl. Gelpke, Niederer (2011): S. 8

Verfügung stehenden Kapazität und die Möglichkeit optimaler Lagerungsbedingungen, da die Umweltbedingungen im Magazin menschliche Bedürfnisse nicht berücksichtigen müssen.[84] Darüber hinaus kann die Bereitstellung bestellter Medien mithilfe eines ASRS beschleunigt werden.[85] Die Einlagerung und die Aushebung von Magazinbeständen beides können sowohl mit manuellen Eingriffen als auch vollautomatisiert durchgeführt werden. Beim Bestellvorgang wird die Bereitstellung benötigter Medien ohne menschliche Eingriffe bevorzugt, weil dadurch der Service Magazinbestellung während der gesamten Öffnungszeiten einer Bibliothek angeboten werden kann. Bei der Rückgabe können eine Kontrolle des Zustands der Medien und eine Plausibilitätsprüfung durch Bibliotheksmitarbeiter durchgeführt werden. Dafür kann eine Sortierstation im Magazinbereich eingerichtet werden. Bei der Medienbereitstellung werden die bestellten Medien von einem IT-gesteuerten Regalbediengerät aus ihren Standorten in einem Hochregal ausgehoben. Sie können an der Sortierstation durch einen Robotergreifarm aus Lagerbehälter entnommen und auftragsweis in einen Transportbehälter gelegt werden. Wenn ein Bestellungsauftrag für Magazinbestände abgeschlossen wird, wird der Transportbehälter von einem FTF in den Ausleihbereich gebracht. Damit die Ausgabe bestellter und vorgemerkter Medien im Ausleihbereich automatisiert durchgeführt werden kann, könnte ein neuartiges Abholregal eingesetzt werden. Ähnlich wie beim intelligenten Rückgaberegal können die Regalböden mit im Boden selbst eingelassenen RFID-Antennen sein, um die im Regal befindlichen Medien zu identifizieren und zu lokalisieren.[86] In diesem Bereich kann ein FTF mit Gabel zum Handling von Behältern eingesetzt werden. Ein Behälter wird zu einer Übergabestation gebracht, der die für einen Bestellungsauftrag benötigten Medien enthält. Anschließend kann der Behälter vom FTF mit Gabel in eine leere Position im Abholregal gestellt werden. Dieses Regal kann hier als ein Zwischenpuffer bestellte und vorgemerkte Medien in Transportbehältern bis zur Abholung aufbewahren. Bei der Abholung können die Nutzer ihre Benutzerkarte vor ein Lesegerät halten. Der

[84] vgl. Eigenbrodt, O. (2014): S. 95
[85] vgl. Eigenbrodt, O. (2018): S. 97
[86] vgl. Ebenda: S. 98

entsprechende Behälter wird vom FTF mit Gabel aus dem Regal in eine Medienausgabestation gebracht. Dort kann der Nutzer seine Medien aus dem Behälter entnehmen und an den Selbstverbuchungsgeräten verbuchen. Der leere Behälter wird später durch ein FTF mit Hubtisch zu einem Behälterspeicher gefahren.

Die Idee zur Automatisierung der Medienrückgabe, den Rückgabeautomaten mit einem Sortierer zu verbinden, ist im Bibliotheksbereich gängig. Wie bereits erwähnt kann diese Verbindung auch über Rollenbahnen und Förderbänder realisiert werden. Die zurückgegebenen Medien werden durch einen Rückgabeautomat entgegengenommen. Die Verbuchung in das Bibliothekssystem wird gleichzeitig durchgeführt und das System aktualisiert automatisch das Benutzerkonto. Anschließend werden diese Medien entsprechend Standorten und weiteren definierten Kriterien wie z.B. vorgemerkte Medien in Federwagen sortiert. Wenn ein Federwagen völlig beladen wird, können zwei Transportaufträge ausgelöst werden. Ein FTF wird den vollen Federwagen zu seinem Zielort fahren. Gleichzeitig bringt ein weiteres FTF einen leeren Federwagen aus einem Federwagenspeicher in den Sortierbereich. Nach der Sortierung werden die vorgemerkten Medien wie oben erwähnt für die automatisierte Ausgabe zur Kommissionierungsstation transportiert und dann in Behältern in den Ausleihbereich gebracht. Magazinbestände werden automatisch zu einer Übergabestation für Federwagen im Lagerbereich transportiert. Sie würden dann von Bibliotheksmitarbeitern manuell aus den Federwagen entnommen, an der Sortierstation auf ihren Zustand und ihre Vollständigkeit geprüft und anschließend manuell in die entsprechenden Lagerbehälter eingestellt. Die Lagerbehälter werden dann durch ein Regelbediengerät an seinen Platz im Hochregal zurückgestellt. Bestände, die manuell verfahren werden sollen, wie z.B. Freihandbestände, werden in Federwagen zu einer Übergabestation im Freihandbereich gefahren und dann durch Bibliothekspersonal manuell in die Freihandregale einsortiert. Für den Vertikaltransport zwischen Stockwerken können Lastenaufzüge eingesetzt werden. Die Bedienung der Aufzüge und das Öffnen der in Verkehrswege befindlichen Türen können von FTF völlig

selbstständig durchgeführt werden.

Entsprechend des innovativen Konzepts wird ein neues Layout in Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7 dargestellt. Eine Kommissionierungsstation (KS), eine Sortierstation (SS), ein Behälterspeicher (BHS) und ein Federwagenspeicher (FS)werden darin ergänzt, die rot markiert sind. In den Abbildungen steht der Kreis für die Übergabestationen für Behälter und das Dreieck für die Übergabestationen für Federwagen.

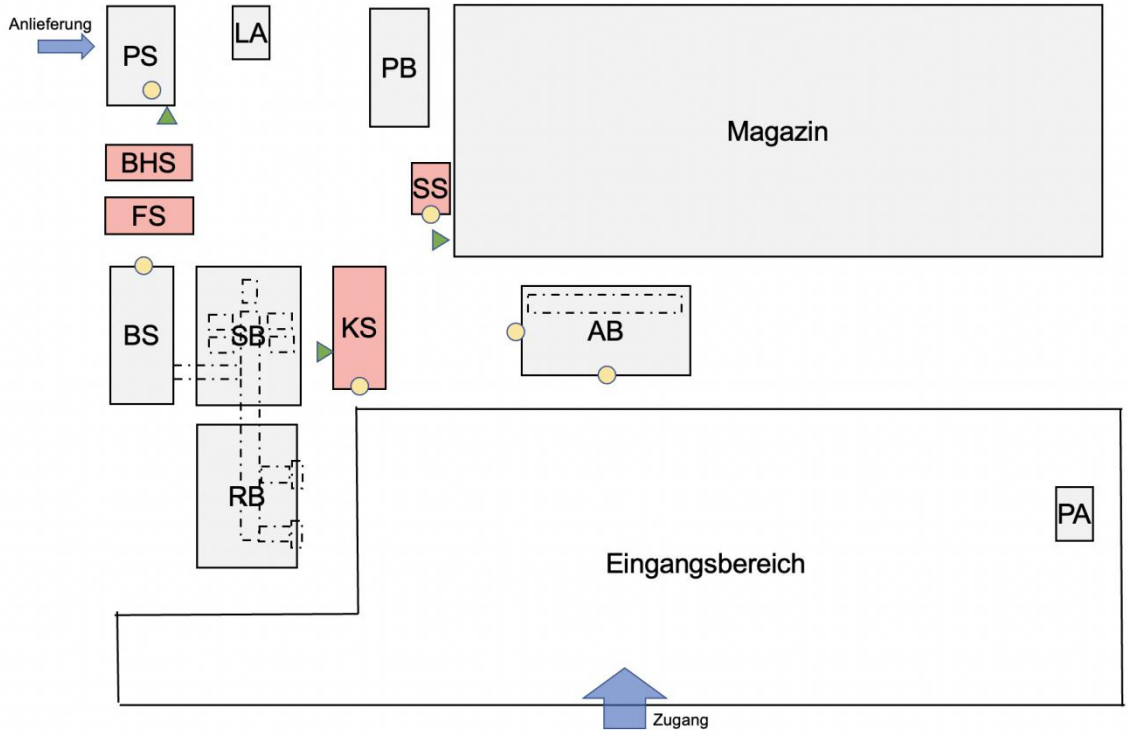

Abbildung 4-6 Neues Layout ---Erdgeschoss[87]

[87] Abbildung: eigene Darstellung

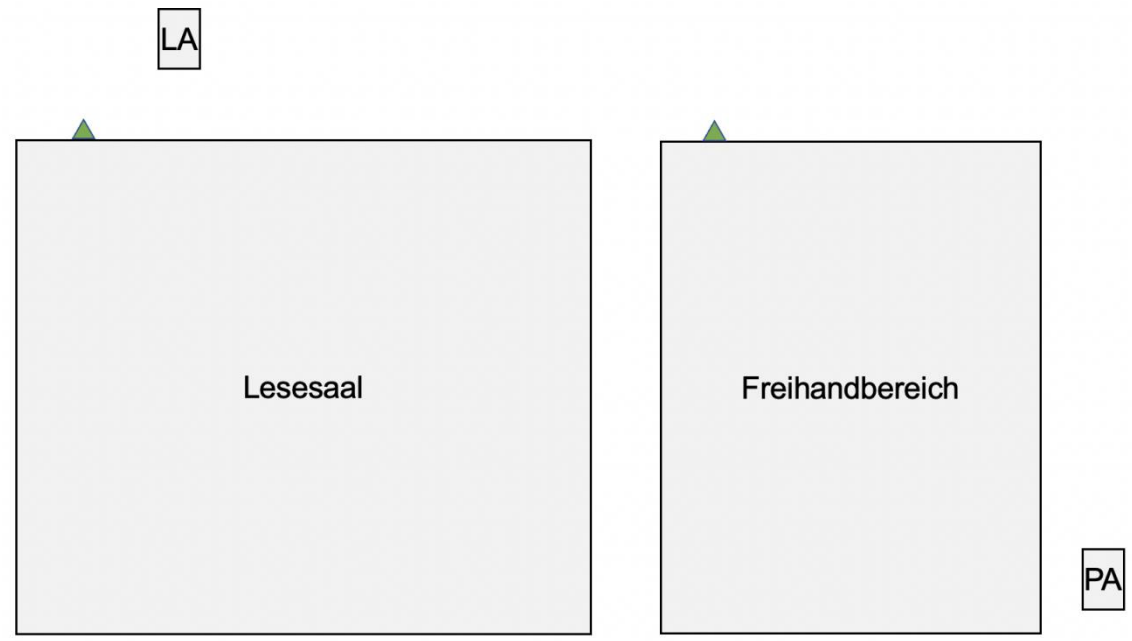

Abbildung 4-7 Neues Layout --- 1. Obergeschoss[88]

4.2.2 Navigation

Um die eigenständige Orientierung und Navigation von FTF in einer Bibliothek zu realisieren, stehen vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung. Die zurzeit gebräuchlichsten davon sind Induktivführung, Magnetnavigation und Lasernavigation.

Induktivführung

Es werden von Strom durchflossene Leiter im Boden eingelassen. Unter dem FTF sind im rechten Winkel zur Leitspur zwei Spulen angebracht, in die der Wechselstrom des Leitdrahtes einen Strom induziert. Die Stromdifferenz in den beiden Spulen ist ein Maß für die Abweichung von der Leitspur und regelt den Lenkmotor.

Magnetnavigation

Dabei werden Magnetpunkte im Boden als Stützpunkte für die Navigation eingesetzt. Die Lage des Fahrzeuges wird mittels Koppelnavigation bestimmt. Dabei bedarf es sowohl einer genauen Erfassung der Odometriedaten, als auch der Peilung der in regelmäßigen Abständen in den Boden eingelassenen Magneten.

[88] Abbildung: eigene Darstellung

Lasernavigation

Reflektoren werden an den Wänden und Säulen angebracht und können von einem rotierenden Laserscanner auch über größere Entfernungen genau vermessen werden.[30]

Aber bei allen drei Verfahren folgen die einzelnen FTF fest vorgegebenen Routen und die stationären Einrichtungen (Leiter, Magnetpunkte und Reflektoren) werden zur Lageerfassung installiert. Wenn sich die Umgebung bzw. das Layout ändern würden, könnte eine sofortige Anpassung durch diese drei Verfahren nicht erfüllt werden.[89]

Um die Flexibilität und die Erweiterungsfähigkeit dieses Konzepts maximal zu erhöhen, kann eine cloudbasierte, freie Navigation eingesetzt werden. Dazu haben die Wissenschaftler aus Fraunhofer IPA eine Lösung entwickelt. Dabei können die vorgegebenen Fahrwege sowie starre Installationen entfällt werden und stattdessen kann eine dynamische Routenplanung realisiert werden. Über die Cloud können alle FTF und Sensoren, die in einem Gebäude montiert sind, miteinander vernetzt werden und liefern in Echtzeit die Daten, die für Lokalisation, Kartierung, Pfadplanung und -optimierung erforderlich sind. Eine cloudbasierte Leitsteuerung kann durch die Auswertung dieser Daten eine sich stetig aktualisierende Karte der gesamten Umgebung erzeugen, die alle statischen und dynamischen Objekte enthält. Basierend auf dieser Karte passt die Leitsteuerung die Bahnen für die sich im Einsatz befindlichen FTF an. Dadurch können über die Zeit die Invarianten einer Umgebung erkannt werden, die sich als Umgebungsmerkmale zur Lageerfassung nutzen lassen können. Ebenso können typische Bewegungen und Abläufe ermittelt werden, die bei der vorausschauenden Pfadplanung berücksichtigt werden können. Neben der verbesserten intelligenteren Navigation bietet die Cloud-Navigation auch wirtschaftliche Vorteile. Weil die Informationen in der Cloud gebündelt werden, profitiert jedes FTF von der Gesamtheit aller Sensorinformationen des FTS und nicht nur von den eigenen. Somit müssen die einzelnen FTF nicht alle mit Sensoren ausgestattet sein, um

[89] vgl. VDI 2510 (2005): S. 33

intelligent navigieren zu können, weil mehrere FTF einen Sensor gleichzeitig „nutzen“ können. Außerdem sind die Anforderungen an die Rechenleistung der einzelnen FTF geringer, denn ein Großteil der Berechnungen erfolgt in der Cloud.[90]

4.2.3 Sicherheit

Beim Einsatz des FTS im Anwendungsfall von Bibliotheken werden die Verkehrsfläche des Gebäudes gleichzeitig sowohl von FTF als auch von Menschen genutzt. Das bedeutet, dass Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden müssen, um Kollisionen und Verletzungen von Personen zu vermeiden.

Zunächst sollten die Verkehrswege der FTF vom Verkehrsbereich der Bibliotheksbenutzer getrennt werden. Wie bereits erwähnt, muss der Transportbereich der FTF von den Bahnen der Nutzer in einem festgelegten Layout für einen Neubau einer Bibliothek durch Kennzeichnung abgegrenzt werden (z.B. durch Farbe oder Nagelreihe etc.).[91] In Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9 ist die Abgrenzung mit einer blauen Linie gekennzeichnet.

[90] vgl. Dörr, Lopez (2015): online
[91] vgl. VDI 2510-1 (2009): S. 10

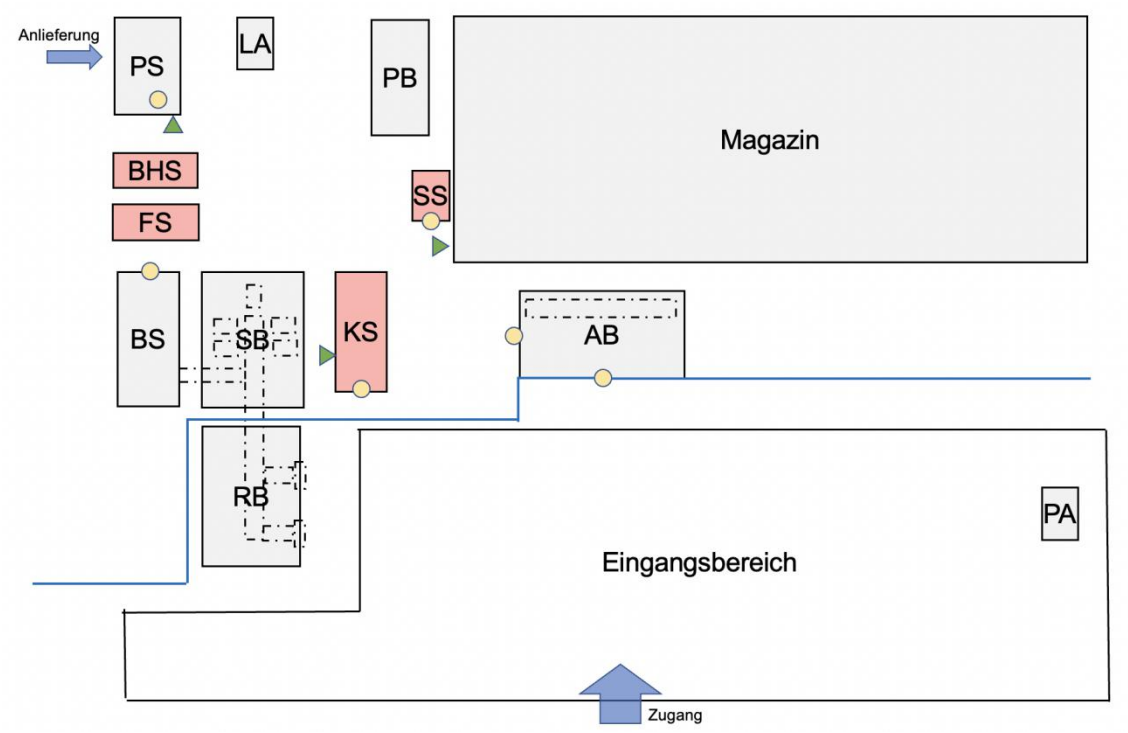

Abbildung 4-8 Abgrenzung im Layout --- Erdgeschoss[92]

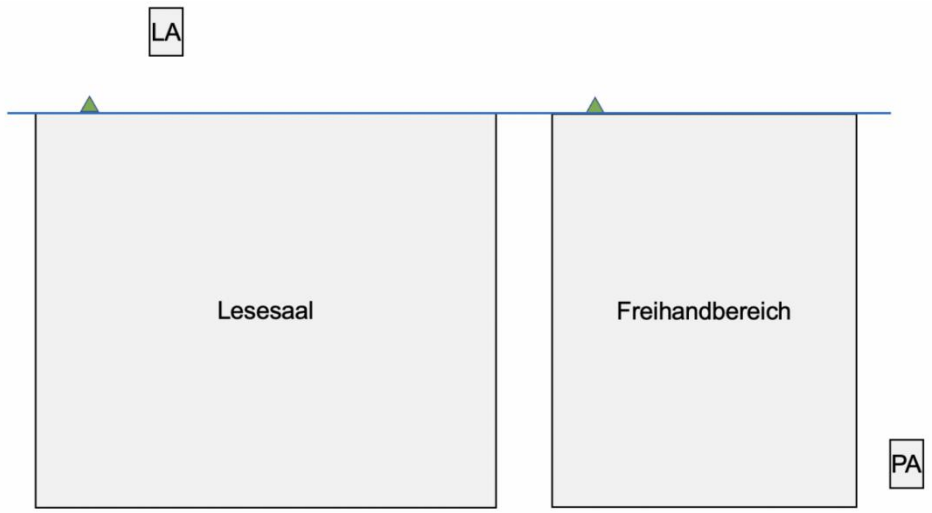

Abbildung 4-9 Abgrenzung im Layout --- 1.Obergeschoss[93]

Außerdem müssen die zwingend vorgeschriebenen Warn- und Sicherheitseinrichtungen auf jedem FTF angebracht werden.

<u>Warneinrichtungen</u>

Als fahrzeugseitige Warneinrichtungen können Blitzleuchten und akustische Alarme

[92] Abbildung: eigene Darstellung
[93] Abbildung: eigene Darstellung

eingesetzt werden. Wenn sich Personen oder Hindernisse auf den Fahrwegen der FTF befinden würden, werden die optischen und akustischen Warnsignale ausgelöst.

Personenerkennungssystem und Bremssystem

Ein Laserscanner kann zur Erkennung von im Fahrweg befindlichen Personen verwendet werden. Neben dem eigentlichen Personen-Schutzbereich, innerhalb dessen ein Nothalt durch das Bremssystem durchgeführt werden muss, können auch mehrere Warnbereiche definiert werden. Wenn die Warnbereiche durch Personen oder Hindernisse besetzt würden, werden Warnsignale abgegeben und dabei gleichzeitig die Fahrgeschwindigkeit verringert, bis der Warnbereich wieder geräumt ist.

Not-Aus-Taster

Der Not-Aus-Taster muss an leicht zugänglichen Stellen angebracht werden. Beim Notfall werden FTF damit unverzüglich zum Stillstand gebracht.[94]

Bisher haben FTF mithilfe von diesen Einrichtungen einfach vor einem Hindernis angehalten und nach einer vorgegebenen Wartezeit auf ihre Situation aufmerksam gemacht. Wie oben genannt kann die cloudbasierte Navigation eine intelligentere Lösung anbieten. Hindernisse oder Personen auf der geplanten Bahn eines FTF können frühzeitig erkannt und an die cloudbasierte Leitsteuerung übermittelt werden. Diese Leitsteuerung kann Alternativrouten berechnen und vorausschauendes Umfahren ermöglichen. Darüber hinaus können aus den gebündelten Sensordaten die Bewegungen von Personen prädiziert werden. Dies soll einerseits anhand von aktuellen Sensordaten erfolgen. Andererseits kann die Prädiktion auch auf der Auswertung von Daten über längere Zeiträume basieren. Auf dieser Basis kann eine vorausschauende Routenplanung durchgeführt werden, um von Personen frequentierte Streckenabschnitte möglichst zu umfahren.[95]

4.3 Potenzialeinschätzung

[94] vgl. VDI 2510 (2005): S. 18
[95] vgl. Dörr, Lopez (2015): online

Das Potenzial dieses neuartigen Konzepts für einen geplanten Neubau einer Bibliothek kann aus vier Perspektiven bewertet werden, nämlich Benutzerfreundlichkeit, Raumeinsparung, Flexibilität und Wandbarkeit sowie Kosten.

Benutzerfreundlichkeit

Mithilfe der vollständigen Trennung von den Verkehrsflächen der Nutzer und dem Transportbereich der FTF sowie des intelligenten Umfahrens durch die cloudbasierte Navigation kann die Sicherheit zuverlässig gewährleistet werden. Da eine sehr ruhige Umgebung im Lesesaal erforderlich ist, wird er im Layout im ersten Obergeschoss angeordnet, im dem kein hochfrequenter Transport von FTF findet statt. In diesem Fall können die Nutzer im Lesesaal kaum gestört bleiben. Wie bereits erwähnt kann die Bereitstellung ausleihbarer Magazinbestände mittels ASRS beschleunigt werden. Mithilfe von Behältern und Buchwagen mit Federboden können sorgfältige Aufnahme und Transport von Medien erreicht werden. Darüber hinaus ermöglicht es der Einsatz eines Robotergreifarms an der Sortierstation, des FTF mit Gabel sowie des intelligenten Abholregals im Ausleihbereich, den gesamten Bestellvorgang für Magazinbestände zu automatisieren und auf diese Weise die Servicezeit der Magazinbestellung erweitern zu können. Die Medienrückgabe kann mithilfe von den Rückgabeautomaten, der Sortieranlage und den Federwagen auch automatisiert durchgeführt werden. Somit ein 24/7-Betrieb einer Bibliothek kann realisiert werden.

Raumeinsparung

Im Vergleich zu anderen Transportsystemen müssen beim Einsatz des FTS relativ wenige stationäre Einrichtungen installiert werden, z.B. die vorhandenen Verkehrsfläche des Gebäudes können direkt von FTF genutzt werden. Wie bereits erwähnt ermöglicht es die hochverdichtete, automatisierte Lagerung von Medien, Raum im Magazinbereich maximal zu einsparen.

Flexibilität und Wandbarkeit

Wie in Kapitel 3 erwähnt, verfüge FTS über ein größeres Potenzial bei Flexibilität und Wandbarkeit als andere Transportsysteme. Wenn sich die Umgebung bzw. das Layout in der Zukunft ändern, wie z.B. die Einrichtung neuer Übergabestationen oder die Erschließung neuer Bereiche, kann sich das FTS durch die cloudbasierte Navigation an diese Veränderungen sofort anpassen. Mithilfe von dem in diesem Konzept entwickelten FTF mit Hubtisch kann der Transport von Medien in unterschiedlichen Größen leicht realisiert werden. Durch die Skalierbarkeit des Hubtisches in Längsrichtung können Behälter in verschiedenen Größen für Medien aufgenommen werden.

Kosten

Durch die Entlastung der Mitarbeiter von der körperlichen Arbeit können die Personalkosten senken.[96] Darüber hinaus können durch die cloudbasierte Navigation wie bereits genannt die teuren Anfangsinvestitionen für ein FTS wie auch die laufenden Betriebskosten reduzieren.[97]

[96] vgl. VDI 2510 (2005): S. 3
[97] vgl. Dörr, Lopez (2015): online

5 Fazit

Zum Abschluss der vorliegenden Arbeit werden in diesem Kapitel die erarbeiteten Ergebnisse zusammengefasst. Außerdem erfolgt auch ein Ausblick, welche neuen Technologien oder Ideen für die Automatisierung der Transportlogistik in Bibliotheken in Zukunft entwickelt und eingesetzt werden.

5.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung eines neuartigen Konzepts zur Automatisierung der bibliothekarischen Transportlogistik für einen geplanten Neubau einer Bibliothek.

Zunächst wurden nach der Literaturrecherche die bestehenden, gängigen Transportsysteme im Anwendungsfall von Bibliotheken aufgelistet, nämlich Handbücherwagen, Förderbandanlagen (ohne Behälter), Behälterförderanlagen mit Förderbändern, Behälteraufzügen und Förderbehälter, Förderanlagen mit selbstfahrenden Behältern und FTS. Um Ideen für die Entwicklung eines innovativen Konzepts liefern zu können, wurden diese Systeme untersucht und ihre typischen Anwendungsbeispiele in Bibliotheken analysiert sowie beschrieben.

Anschließend wurden mit Hilfe von Mitarbeitern der UB Stuttgart Anforderungen an ein neues Konzept gestellt. Diese Anforderungen sind in vier Kategorien unterteilt: Benutzerfreundlichkeit, Einsparung von Ressourcen, zukunftsorientierte Fähigkeiten und Kosten. Sie wurden als Bewertungskriterien für die Auswahl eines geeigneten

Transportsystems verwendet. Durch die Nutzwertanalyse wurde FTS schließlich als das geeignetste System ausgewählt.

Abschließend wurde ein innovatives Konzept erarbeitet. Dafür wurden zuerst die Transportlogistik und ein Raumsystem einer Bibliothek festgelegt. Auf dieser Basis wurde ein Konzept für die Automatisierung der drei grundlegenden Betriebsabläufe einer Bibliothek, nämlich Medieneingang, Medienbreitstellung und Medienrückgabe, entwickelt. Damit das FTF flexibel zwischen zwei beliebigen Zielen im Gebäude navigieren kann, kann die cloudbasierte Navigation eingesetzt werden. Neben der Abgrenzung der Verkehrsfläche und der Ausrüstung von erforderlichen, fahrzeugseitigen Sicherheitseinrichtungen bietet die cloudbasierte Navigation eine intelligentere Lösung zum Personenschutz, nämlich das vorausschauende Umfahren.

5.2 Ausblick

Eine neue Idee zur Verbesserung des derzeitigen Konzepts kann in Zukunft entwickelt und umgesetzt werden. Die Bestandsverwaltung kann von eindeutigen Medienstandorten auf chaotische Lagerhaltung umgestellt werden. Eine digital gesteuerte chaotische Lagerung, die in Bibliotheken unüblich ist, kann durch Vertical-Lift-Moduls (VLM), eine gängige Form von ASRS, realisiert werden. Neben der bereits genannten Vorteile entfallen dabei alle organisatorischen, also verwaltungszentrieten Vorgänge, die in einem Magazin mit Festplatzlagerung notwendig sind. Darüber hinaus kann mithilfe von intelligenten Lagermanagementsystemen die Verfolgung jedes einzelnen Mediums bis zu einem vom System festgelegten Standort durchgeführt werden. Intelligentes Lagermanagement kann einerseits Workflows beschleunigen, da die am häufigsten gefragten Medien immer am schnellsten erreichbar sind, andererseits kann es das

Auffinden von Medien erleichtern.[98] Die Koppelung des FTS und des intelligenten Lagermanagementsystems kann in ein zukünftiges Konzept eingesetzt werden.

[98] vgl. Eigenbrodt, O. (2018): S. 97-98

Literaturverzeichnis

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: *Qualitative Bewertungsmethoden,* https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/ohb_pdf.pdf;jsessionid=2F78B21B327BBCE6E006F28BA5DD1C46.1_cid340?__blob=publicationFile&v=29, 06.08.2021

Dambeck, H.: *Unheimliche Begegnung am Bücherregal,* https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/kollege-roboter-unheimliche-begegnung-am-buecherregal-a-761752.html, 10.09.2021

Dörr, S.; Lopez, F. G.: *Vernetzte intelligente Navigation für fahrerlose Transportsysteme,* https://www.smart-production.de/open-automation/news detailansicht/nsctrl/detail/News/vernetzte-intelligente-navigation-fuer-fahrerlose-transportsysteme/np/2, 05.09.2021

Eigenbrodt, O.: *Automation von Logistik und Servoce in Bibliotheken – Eine Standortbestimmung,* in: BuB: Forum Bibliothek und Information, 2-3, 2018, S. 96-99

Eigenbrodt, O.: *Automation zwischen Insellösung und Logistikkreislauf,* in: RFID für Bibliothekare: ein Vademecum, Berlin, News & Media, 2014, S. 86-97

Gelpke, W.; Niederer, U.: *Das Projekt „Kooperative Speicherbibliothek Schweiz“*, Gelpke consultant GmbH / Zentral- und Hochschulbibiothek Luzern, 2011

Gilgen, 2016: *Medientransportanlage für den Neubau der Freiburger Universitätsbibliothek*, https://www.gilgen.com/de/referenzen/detail/universitaets-bibliothek-d-freiburg-ib.html, 25.05.2021

Heinecker, M.: *Methodik zur Gestaltung und Bewertung wandelbarer Materialflusssysteme*, Diss., Technische Universität München, 2006

Hiro Lift: *Wie funktioniert ein Paternoster?*, https://hiro.de/funktion-paternoster/, 15.07.2021

Lift Journal: *Welche Aufzugsarten gibt es?*, https://www.lift-journal.de/aktuell/welche-aufzugsarten-gibt-es, 01.07.2021

Naumann, U.: *Bibliotheksbau, Bibliothekseinrichtung, Bibliothekstechnik, Ergonomie*, Unterlagen für das Fernstudium, 2013, Berlin, Humboldt-Universität

Technology Group MK: *Rollenbahn System mit verschiedenen Antriebskonzepten*, https://www.mk-group.com/produkte/foerdertechnik/rollenbahnen.html, 30.05.2021

Naumann, U.: *Raumprogramm und Funktionspläne*, in: Hauke/ Werner (Hrsg.): Bibluotheken bauen und ausstatten, Berlin, Bock + HERCHEN, 2009, S. 46-58

Pichler, T.: *Vergleich von Fahrerlosen Transportsystemen in Produktion, Intra- und Dienstleistungslogistik,* Diss., Industrielogistik, 2014

Quast, Anke.: *Volkswagen Universitätsbibliothek, Technische Universität und Universität der Künste Berlin*, 2020, S. 22

Richter, A.: *Förder- und Sortiertechniken*, in: Hauke/ Werner (Hrsg.): Bibluotheken bauen und ausstatten, Berlin, Block+ HERCHEN, 2009, S. 174-182

Schutz, E.: *Der ewige Wettlauf zwischen Hase und Igel – Im Erwin-Schrödinger-Zentrum in Berlin sind seit 15 Jahren Roboter im Einsatz/ Erstaunen und Begeisterung bei den Nutzern,* BuB 70 (2-3), 2018, S. 114-115

Telelift: *Die Telelift Gesamtlösung für Krankenhäuser*, https://telelift-logistic.com/de/loesungen/healthcare/gesamtloesung-krankenhaus/, 23.06.2021

Telelift: *Optimale Gestaltung der Rückgabe- und Sortierprozesse*, https://telelift-logistic.com/de/loesungen/bibliotheken/, 03.04.2021

Telelift: *Smarte Logistik für Bibliotheken*, Frauenstraße 28, Maisach, Deutschland, 2021

Telelift: *Telelift UniCar – moderne Technik für den perfekten Transport*, https://telelift-logistic.com/de/produkte/unicar/, 26.06.2021

Telelift: *UniCar offene Förderbehälter, pendelnd*, https://telelift-logistic.com/de/produkte/unicar/unicar-offen/, 03.07.2021

Telelift: *UniSortCar moderne Technik für effiziente Mediensortierung*, https://telelift-logistic.com/de/produkte/unicar/unicar-sortierfunktion/, 05.05.2021

Ullrich, G.; Albrecht, T.: *Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel – mit Paxisanwendungen – zur Technik – für die Planung*, 3. Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg, 2019

Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2510-1, Infrastruktur und periphere Einrichtungen für Fahrerlose Transportsysteme (FTS),* Berlin, Beuth, 2009

Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2510, Fahrerlose Transportsysteme (FTS)*, Berlin, Beuth, 2005

Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 4451-7, Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS)*, Berlin, Beuth, 2005

WTT Fördertechnik: *Staurollenbahnen*, https://www.wtt-foerdertechnik.de/produkte/staurollenbahnen.php, 22.06.2021