



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung eines autonomen Fahrzeugs für mobilitätseingeschränkte NutzerInnen an öffentlichen Verkehrsknotenpunkten

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg KARTNIG

Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik
Forschungsbereich Konstruktionslehre und Fördertechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

David Haberfellner

0842371 (066 482)

Berggasse 7/13

1090 Wien

Wien, im November 2014

David Haberfellner

Kurzfassung

Im Rahmen des Projekts TransitBuddy wird ein autonomes Fahrzeug für den Einsatz an öffentlichen Verkehrsknotenpunkten entwickelt. Dieses Fahrzeug soll mobilitätseingeschränkten Personen den Gepäcktransport abnehmen und die Nutzer gleichzeitig führen und mit wichtigen Informationen versorgen.

Unter Beachtung der infrastrukturellen Rahmenbedingungen stark frequentierter, öffentlicher Orte wird im Projektteam an den unterschiedlichen Aspekten dieses neuartigen Einsatzfeldes für autonome Fahrzeuge geforscht. Das Institut für Konstruktionswissenschaften und technische Logistik ist dabei mit der Entwicklung einer entsprechenden technischen Konstruktion beauftragt.

Ausgehend von einem Überblick über fahrerlose Transportsysteme und der theoretischen Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses, werden die Stadien der Entwicklung dieses Fahrzeugs beschrieben und deren Ergebnisse präsentiert.

Abstract

The objective of the TransitBuddy project is to develop an automatic guided vehicle for the operation at public traffic hubs. The vehicle shall help mobility impaired people with the transport of their luggage, guide the users through the building and provide important information.

Regarding the infrastructural circumstances of highly frequented, public spaces the project team is doing research on the different aspects of this new application of autonomous vehicles. The Institute of Engineering Design and Logistics Engineering is in charge of developing an appropriate technical construction.

Beginning with an overview of autonomous vehicles and the theoretical description of the product development process, the different stages of the development are described and the results are presented.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Ausgangslage	6
1.2	Aufgabenstellung	7
2	Fahrerlose Transportsysteme.....	8
2.1	Geschichte und Definition fahrerloser Transportsysteme.....	8
2.2	Bestehende Projekte.....	9
2.2.1	Masdar City Podcar	9
2.2.2	CyCab	10
2.2.3	Navia	11
2.2.4	Fahrerlose Autos und die rechtliche Situation	12
2.3	Komponenten fahrerloser Transportsysteme.....	14
2.3.1	Fahrwerk.....	15
2.3.2	Lastaufnahmemittel	17
2.3.3	Standortbestimmung	17
2.3.4	Energieversorgung	18
2.3.5	Bedienelemente	21
2.3.6	Warn- und Sicherheitseinrichtungen	21
2.3.7	Fahrzeug-, Leitsteuerung und Datenübertragung	23
3	Entwicklung des TransitBuddys	25
4	Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.....	28
4.1	Theoretischer Hintergrund	28
4.2	Aufstellen der Anforderungsliste.....	29
4.2.1	Geometrie	30
4.2.2	Kinematik und Kräfte	33
4.2.3	Energie und Stoff	35
4.2.4	Signal.....	36
4.2.5	Sicherheit	37
4.2.6	Ergonomie	38
4.2.7	Gebrauch	38
4.2.8	Sonstige Anforderungen.....	39
4.3	Quality Function Deployment (QFD).....	40

4.3.1	Vorgehensweise bei einer QFD-Analyse.....	40
4.3.2	Die wichtigsten Ergebnisse der QFD-Analyse.....	41
5	Konzipieren.....	43
5.1	Theoretischer Hintergrund	43
5.2	Abstraktion zur Erkennung des Kernproblems.....	44
5.3	Aufstellen der Funktionsstruktur	45
5.4	Aufstellen von Wirkprinzipien.....	48
5.4.1	Fahrwerk.....	51
5.4.2	Ladungssicherung.....	59
5.5	Konzeptänderung und Verzicht auf den Transport von Personen.....	64
5.5.1	Änderungen in der Anforderungsliste	64
5.5.2	Änderungen am Fahrwerk	67
5.6	Entwickeln der Wirkstruktur	69
5.6.1	Getroffene Entscheidungen und Begründung.....	70
6	Methodisches Entwerfen.....	73
6.1	Theoretischer Hintergrund	73
6.2	Gepäcksaufbewahrung	75
6.3	Fahrwerkskonfigurationen.....	78
6.4	Aufbau.....	83
6.5	Überlegungen zur Verringerung des Platzbedarfs	86
7	Designstudie	88
7.1	Designstudie 1	88
7.2	Designstudie 2	89
8	Zusammenfassung und Ausblick	92
9	Verzeichnisse.....	94
9.1	Literatur	94
9.2	Abbildungen	96
9.3	Tabellen.....	97
10	Anhang.....	I
10.1	Projektausschreibung.....	I
10.2	Hauptmerkmalliste nach Pahl/Beitz.....	II
10.3	QFD (Quality Function Deployment)	III
10.4	Fahrwerksbewertung.....	VII
10.5	Anforderungsliste	XI

1 Einleitung

Beim Projekt TransitBuddy handelt es sich um ein von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft unterstütztes Projekt. Primäres Ziel der Entwicklung ist es, einen Transfer für mobilitätseingeschränkte Personen innerhalb öffentlicher Verkehrsknotenpunkte zu ermöglichen.

1.1 Ausgangslage

Insbesondere mobilitätseingeschränkte Personen aber auch andere Reisende stehen häufig vor dem Problem, dass sie sich an großen Verkehrsknotenpunkten nicht zurecht finden bzw. der Weg von einem Punkt zum anderen nur mühsam zu bewältigen ist. Dies betrifft nicht nur geh-eingeschränkte Personen, sondern auch Reisende mit schwerem Gepäck und nicht ortsunkundige Personen. Aus diesem Bedürfnis heraus wird eine Lösung für ein fahrerloses Transportsystem gesucht, die einerseits als Orientierungshilfe und andererseits als autonomes Gepäcktransportsystem dienen soll.

Unter den vielen unterschiedlichen Entwicklungen fahrerloser Transportsysteme finden sich bisher keine, die die gestellten Anforderungen ausreichend erfüllen. Insbesondere die Schwierigkeit, dass der TransitBuddy an öffentlichen und hochfrequentierten Orten zum Einsatz kommen soll, stellt ein ungelöstes Problem dar. Darüberhinaus gibt es nur wenige fahrerlose Transportsysteme, die für den Personentransport konzipiert sind.

Das Fahrzeug soll außerdem von Personen genutzt werden, die nicht mit dem Gerät vertraut sind und dieses intuitiv und ohne Einschulung verwenden können. Das Fahrzeug soll nicht nur dem Transport von Gepäck und Personen dienen, sondern auch ein Informationsterminal darstellen.

1.2 Aufgabenstellung

Ziel des gesamten vom FFG geförderten Projektes ist es, ein fahrerloses Transportsystem zu entwickeln, das sowohl die Aufgabe des Transportes als auch die eines mobilen Informationssystems übernimmt. Am Ende soll ein technisches Konzept vorliegen, dessen technische und wirtschaftliche Machbarkeit bewertet werden kann und das zum anderen die möglichen Einsatzbereiche aufzeigt. Um dieses Ziel zu erreichen beteiligen sich folgende Projektpartner:

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- ÖBB-Infrastruktur Aktiengesellschaft
- TU Wien – Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN)
- TU Wien – Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik (IKL)
- netwiss
- bkm design working group
- DS Automotion GmbH

Diese Projektpartner beschäftigen sich mit folgenden Teilbereichen:

- Aufbau, Design und Bedienelemente des Fahrzeugs entwerfen
- Nutzerprofil erstellen und Interaktionswege festlegen
- Positionsbestimmung und Erfassung der Umgebung sicherstellen
- Navigation und Kommunikation am Einsatzort ermöglichen

Am Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik der TU Wien befasst sich der Forschungsbereich Konstruktionslehre und Fördertechnik mit der Aufgabe, die mechanischen Komponenten des TransitBuddys zu entwickeln.

In einem Folgeprojekt sollen die erarbeiteten Lösungen zu einem Prototypen weiterentwickelt werden und in weiterer Folge zu einem einsatzfähigen und marktreifen Produkt führen. Die Ausschreibung findet sich in Anhang 10.1.

2 Fahrerlose Transportsysteme

Im folgenden Kapitel wird zuerst eine Einführung zu fahrerlosen Transportsystemen gegeben, dann werden einige Lösungsansätze präsentiert, die Parallelen zum TransitBuddy aufweisen und anschließend wird ein Überblick über die einzelnen Baugruppen fahrerloser Transportsysteme (FTS) gegeben.

2.1 Geschichte und Definition fahrerloser Transportsysteme

Die ersten fahrerlosen Transportsysteme wurden bereits in den frühen 1950er Jahren in den USA entwickelt. Wenige Jahre später breitete sich diese Entwicklung auch nach Europa aus. Nachdem anfänglich nur sehr einfache Systeme eingesetzt wurden, steigerte sich die Komplexität zusehends. Die Entwicklung wurde vor allem von der Automobilindustrie maßgebend vorangetrieben. (Ullrich 2011)

Definition nach VDI 2510 (VDI-Gesellschaft 2005):

„Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist.“

Dabei wird bereits die Problematik bei der Entwicklung klar. Das Projekt TransitBuddy unterscheidet sich in zwei Hauptpunkten stark von der Definition nach VDI 2510 und den meisten realisierten Projekten. Zum einen werden fahrerlose Transportsysteme zum überwiegenden Teil für den Transport von Materialien eingesetzt und nur selten für den Personentransport. Zum anderen beschränkt sich das Einsatzgebiet von FTS meist auf nicht-öffentliche Bereiche. So wird in der VDI 2510 der Personentransport explizit ausgenommen. Die DIN EN 1525 nimmt „Flurförderzeuge, die im Bereich des öffentlichen Verkehrs eingesetzt sind, in dem sich Personen aufhalten können, die die entsprechenden Gefährdungen nicht kennen“ (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 1997) explizit aus.

2.2 Bestehende Projekte

Im Folgenden werden bezugnehmend auf die Aufgabenstellung exemplarisch einige FTS-Lösungen betrachtet, die einerseits für den Personentransport vorgesehen sind und andererseits in öffentlichen Bereichen eingesetzt werden. Außerdem werden im Sinne der Anforderungen an den TransitBuddy nur nicht-schienengebundene Lösungen präsentiert.

2.2.1 Masdar City Podcar

2009 präsentierte das niederländische Unternehmen 2getthere in Masdar, einer „Öko-Stadt“ in den Vereinigten Arabischen Emiraten, ein PRT-System (Personal Rapid Transit) (Abbildung 1). Die sogenannten Pods nehmen bei vordefinierten Stationen bis zu sechs Fahrgäste auf und transportieren diese zu einer beliebigen anderen Station. Dabei sind die Pods an definierte Routen gebunden und werden mittels Auffahrspuren und Abfahrten auf die Hauptwege geleitet. Referenzmagneten und ein Odometriesystem sorgen für die Standortbestimmung und Lageerfassung des Fahrzeugs. Die Kommunikation mit dem Leitsystem und zwischen den Fahrzeugen wird über ein WLAN Netzwerk abgewickelt. Die Energie wird über eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie bereitgestellt, deren Aufladung an den Stationen stattfindet. 2getthere gibt an, dass das Fahrzeug für unterschiedliche Energiespeicher (unter anderem Brennstoffzellen) adaptierbar ist.



Abbildung 1: Masdar City Podcar (www.2getthere.eu, 23.6.2014)

Sowohl das PRT-System in Masdar als auch andere Systeme von 2getthere sind als Verbindungsglied zum öffentlichen Verkehrsnetz gedacht. Beispielsweise entwickelte das Unternehmen auch das weltweit erste fahrerlose Personentransportsystem, das nicht an eine physikalische Wegführung gebunden war. Dieses FTS System wurde 1997 am Flughafen Schiphol in Amsterdam installiert.

(de Graaf 2011; Bullis 2009)

Die wichtigsten Unterschiede zum TransitBuddy:

- Für weitere Strecken und höhere Geschwindigkeiten ausgelegt
- Durch Referenzmagneten nicht völlig flexibel

2.2.2 CyCab

Das CyCab (Abbildung 2) ist ein autonomes Fahrzeug, das von der Firma Inria entwickelt wurde und einen Ersatz für Autos im urbanen Bereich für kurze Strecken darstellt. Im CyCab finden zwei Personen Platz, die sich einerseits automatisch zu einem Zielpunkt bringen lassen können und andererseits das Fahrzeug auch manuell über einen Joystick steuern können. Die Energieversorgung erfolgt über Bleiakkumulatoren, die an den Parkplätzen bzw. Standplätzen des CyCabs induktiv aufgeladen werden.



Abbildung 2: CyCab (www.cybermove.org, 25.6.2014)

Bei dem vierrädrigen Fahrzeug handelt es sich um ein sogenanntes bi-steerable car, das bedeutet, dass sowohl die Räder der Vorder- als auch der Hinterachse lenkbar sind. Jedes dieser Räder wird mit einem separaten Elektromotor angetrieben. Damit kann das CyCab, das vom Aufbau einem Golfcart ähnelt, mit bis zu 30 km/h betrieben werden.

Zur Standortbestimmung und zur Umgebungserkennung wird das sogenannte SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping) Verfahren angewandt. Bei diesem Verfahren wird gleichzeitig eine Karte der Umgebung erstellt und die eigene Position ermittelt. Dafür ist das Fahrzeug mit einem Laserscanner und Stereo-Kameras ausgestattet. Auch dieses Fahrzeug kommuniziert mit den anderen Fahrzeugen und dem Leitsystem über ein WLAN Netzwerk. Außerdem ermöglichen in einer anderen Variante des CyCabs Ultraschall- und Infrarotsensoren eine bessere Hinderniserkennung und ein Fahren in Kolonnen (Széchenyi Istvan Universität 2006).

(Inria 2009; Pradalier et al. 2005)

Die wichtigsten Unterschiede zum TransitBuddy:

- Für weitere Strecken und höhere Geschwindigkeiten ausgelegt
- Wird primär im Straßenverkehr eingesetzt und ist nicht für die Benutzung in von Fußgängern stark frequentierten Orten ausgelegt

2.2.3 Navia

Auch das Navia (auch Cybergo genannt) (Abbildung 3) dient dazu, dem Benutzer den Weg von Parkplätzen oder anderen öffentlichen Knotenpunkten zum endgültigen Ziel zu erleichtern. Das vom Unternehmen Induct 2010 präsentierte und 2011 erstmals getestete Fahrzeug dient als möglicher Ersatz für schwach frequentierte Busse und wurde auch bereits in Fußgängerzonen getestet. Im Navia kommen mehrere Technologien zur Standortbestimmung zum Einsatz. Einerseits wird ein GPS-System in Kombination mit Odometrie verwendet, andererseits werden ein Laserscanner und Kameras zur Erkennung der Umgebung und möglicher Hindernisse eingesetzt. Mit Hilfe der Kameras wird bei diesem Fahrzeug eine Weiterentwicklung des SLAM Verfahrens angewandt, das sogenannte SLAM MOT Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping & Multi Object Tracking). Dabei werden nicht nur die statische Umgebung sondern auch bewegte Objekte erfasst und getrackt. Angefordert werden die Fahrzeuge entweder mittels einer Rufsäule oder per Handy.

Angetrieben wird das Navia über vier Elektromotoren, die das Fahrzeug auf bis zu 20 km/h beschleunigen und den Strom aus einer Lithium-Polymer-Batterie beziehen. Angedacht sind auch sogenannte Supercaps, die eine sehr hohe Energiedichte haben und sehr schnell aufgeladen



Abbildung 3: Navia (induct-technology.com, 25.6.2014)

werden können, demgegenüber aber nur eine relativ geringe Kapazität aufweisen.

(induct 2012; Autonomes Fahren 2012)

Die wichtigsten Unterschiede zum TransitBuddy:

- Größeres Fahrzeug (für bis zu 8 Personen konzipiert)
- Für höhere Geschwindigkeiten (bis 20 km/h) ausgelegt

2.2.4 Fahrerlose Autos und die rechtliche Situation

Neben diesen Beispielen für neuartige FTS-Konzepte, forscht die Automobilbranche intensiv an der Weiterentwicklung von konventionellen Kraftfahrzeugen hin zu autonomen Lösungen. Neben der Automobilbranche beschäftigen sich auch Universitäten (z.B. die Universität Stanford (Carey 2012) aber auch deutschsprachige Universitäten wie die TU Braunschweig (Technische Universität Braunschweig 2013)) und andere Unternehmen wie zum Beispiel Google (Urmson 2014) mit dem Einsatz solcher Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr. Obwohl bereits erfolgreiche Tests absolviert wurden und über weite Strecken kein Eingreifen des Fahrers mehr notwendig ist (Lischka 2010), stehen diese Entwicklungen noch nicht unmittelbar vor der Marktreife. Vor allem das Erkennen bewegter Objekte, zum Beispiel anderer Verkehrsteilnehmer, in unbekannter Umgebung stellt eines der Hauptprobleme dar.

Neben technischen Problemen ist die Rechtslage für autonome Fahrzeuge ein weiteres Hindernis. Eine Arbeit der TU München (Lutz et al. 2012) untersuchte dafür die gültigen Rechtsnormen in Europa und den USA und kam für Deutschland und die EU-Staaten zu dem Schluss, dass die aktuelle Gesetzeslage im Allgemeinen keine autonomen Fahrzeuge zulässt. Eine Ausnahme bilden sogenannte Forschungsfahrzeuge, die eine Sondergenehmigung erhalten können. Neben der Frage, ob die Straßenverkehrsordnung den Einsatz solcher Fahrzeuge zulässt, ergeben sich auch haftungsrechtliche Probleme für die Hersteller der Fahrzeuge. Diese haften voll für jegliche Zwischenfälle, „unabhängig davon, ob sie diese fahrlässig herbeigeführt haben oder nicht“ (Lutz et al. 2012). In den USA hingegen stehen dem Einsatz autonomer Fahrzeuge weniger rechtliche Hindernisse im Wege, außerdem wird dort bereits an einer Lösung der rechtlichen Probleme gearbeitet. So beauftragte der Staat Nevada die zuständige Behörde die rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen. Da auf diesem Forschungsgebiet schnelle Fortschritte gemacht werden, sind auch die europäischen Behörden gefordert, entsprechend zu reagieren und diesbezüglich eine klare Rechtsordnung herzustellen.

2.3 Komponenten fahrerloser Transportsysteme

Folgend werden in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2510 die Hauptkomponenten von fahrerlosen Transportfahrzeugen erläutert. Der grundsätzliche Aufbau wird anhand eines FTS für den Lastentransport (Abbildung 4) erklärt. Da sich für den Personentransport nur zusätzliche Komponenten zum Befördern der Person ergeben, die restlichen Komponenten aber unverändert erhalten bleiben, dient dies als Ausgangsbasis.

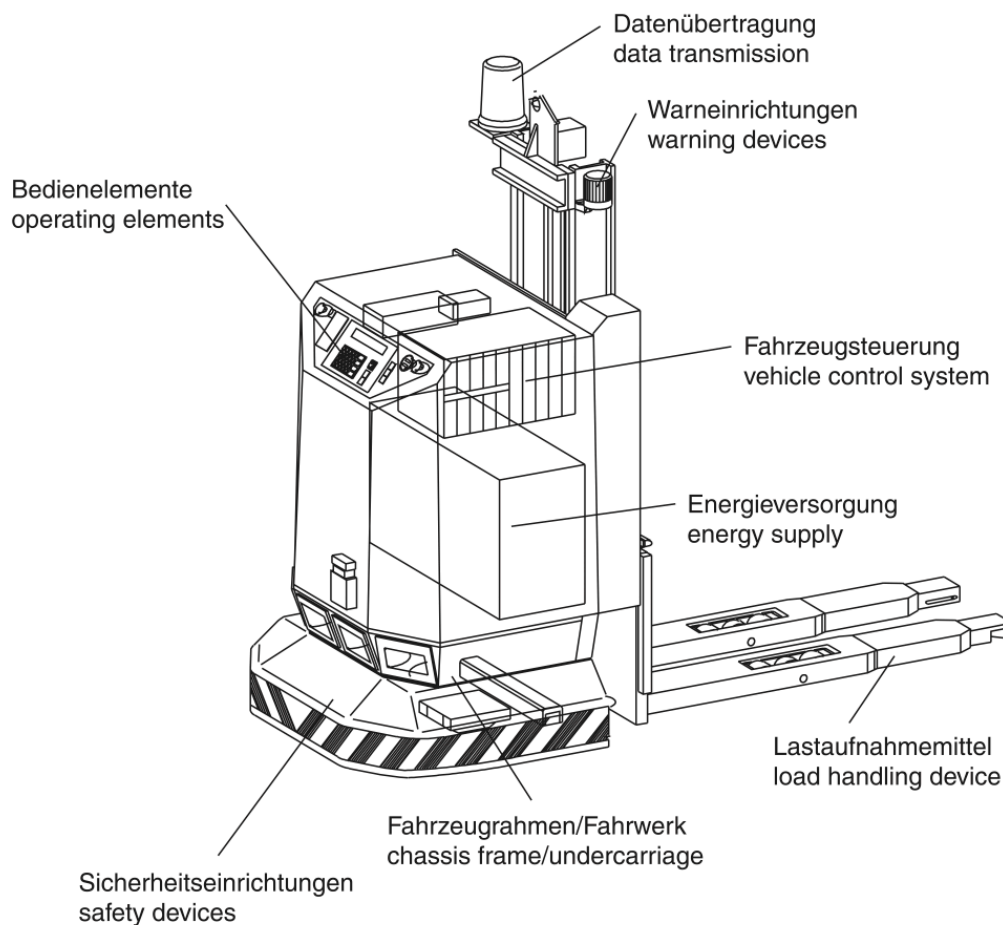


Abbildung 4: Komponenten eines FTF (VDI-Gesellschaft 2005, S.14)

2.3.1 Fahrwerk

Es stehen unterschiedlichste Varianten für das Fahrwerk eines FTS zur Verfügung. Einen Überblick über die gängigsten Typen bietet folgend Abbildung 5.

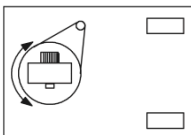
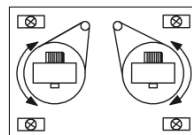
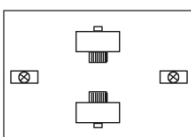
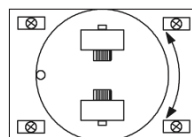
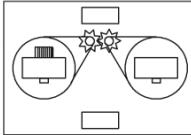
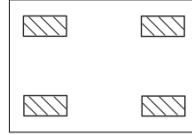
Fahrwerk	Mögliche Fahrbewegung	Fahrwerk	Mögliche Fahrbewegung
 Dreirad	• linienbeweglich • Geradeausfahrt und Drehen um Hinterachse • Vorzugsfahrtrichtung vorwärts, Rückwärtsfahrt möglich	 mehre unabhängige Fahr-/Lenkeinheiten	• flächenbeweglich
 Differentialantrieb	• linienbeweglich • Geradeaus- und Rückwärtsfahrt • Drehen um Mittelachse möglich	 Differentialantrieb mit Drehachse	• flächenbeweglich
 Gekoppelter Lenkantrieb	• linienbeweglich • Geradeaus- und Rückwärtsfahrt • Drehen um Mittelachse möglich	 Mecanum-Antrieb	• flächenbeweglich Quelle: Miag Fahrzeugbau GmbH, Braunschweig
Symbole:  Fahr-antrieb  Stützrad  Lenk-antrieb  drehbares Stützrad (ggf. gefedert)			

Abbildung 5: Fahrwerksvarianten (VDI-Gesellschaft 2005, S.16)

Grundsätzlich lassen sich zwei Bewegungsarten unterscheiden, Flächenbeweglichkeit und Linienbeweglichkeit. Diese lassen sich über unterschiedliche Anordnungen realisieren. Die Flächenbeweglichkeit bietet den Vorteil, dass aus dem Stillstand heraus alle Bewegungen (Translation und Rotation ergeben in der Ebene 3 Freiheitsgrade) ausgeführt werden können. Die Linienbeweglichkeit hat demgegenüber nur zwei Freiheitsgrade und somit ist die Orientierung des Fahrzeugs durch die Bewegung festgelegt.

Räder und Radaufhängung

Die wichtigste Determinante für das Fahrwerkskonzept stellt die Konfiguration der Räder dar, hierbei muss nach Anordnung, Anzahl und Typ unterschieden werden. Die gängigsten FTS besitzen drei bis sechs Räder, wobei deren Anordnung stark variiert.

Dadurch werden unter anderem die Kippstabilität und die maximale Nutzlast bestimmt. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass bei einem Fahrzeug mit mehr als drei Rädern ein statisch unbestimmtes System vorliegt. Deshalb muss die Radaufhängung oder der Fahrzeugrahmen so gestaltet sein, dass ein Ausgleich und damit die Auflage aller Räder gesichert ist.

Lenkung

Bei der Lenkung werden zwei Prinzipien unterschieden:

- Lenksysteme mit geometrischem Lenkeinschlag: Bei diesen Systemen werden die gelenkten Räder entsprechend der gewünschten Fahrtrichtung ausgerichtet.
- Lenksysteme ohne geometrischen Lenkeinschlag: Hierbei wird die Kurvenfahrt mittels unterschiedlicher Drehzahlen erreicht. Das beste Beispiel hierfür ist der Differentialantrieb. Eine andere Möglichkeit für ein Lenksystem ohne geometrischen Lenkeinschlag bietet das Mecanum-Rad. Damit wird die Flächenbeweglichkeit ermöglicht indem ein Rad rundum mit Rollen besetzt ist und jedes Rad einzeln angesteuert werden kann. Durch Unterschiede in Drehzahl und Drehrichtung kann das Fahrzeug alle Bewegungen ausführen.

Antrieb und Bremsen

Der Antrieb erfolgt bei den meisten FTS mittels Elektromotoren (Gleichstrom- bzw. Drehstrommotoren). Dabei werden je nach Konfiguration unterschiedlich viele Räder angetrieben. In Sonderfällen kommen auch Verbrennungsmotoren zum Einsatz.

Das Bremsen erfolgt entweder über mechanische, hydraulische oder elektrische Systeme bzw. einer Kombination daraus.

2.3.2 Lastaufnahmemittel

Je nach Anwendungsgebiet existieren die unterschiedlichsten Lösungen für die Aufnahme von Lasten. Neben einigen Standardformen (z.B.: Gabel, Hubtisch, Schüttgutbehälter,...) werden für etwaige Spezialanwendungen Sonderlösungen entwickelt. Die Lastaufnahmemittel lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen.

- Lastziehende FTS: Hierbei wird die Last nicht direkt vom Transportsystem getragen sondern es werden entweder rollende Lastträger gezogen oder unterfahren und so weitertransportiert
- Lasttragende FTS: Der Lasttransport kann passiv stattfinden, das heißt es steht eine Ablagefläche oder Aufnahmevorrichtung zur Verfügung oder aktiv, dabei werden Elemente vom Transportsystem selbst aufgenommen und anschließend wieder abgegeben.

Im Falle des TransitBuddys werden hier besondere Anforderungen gestellt. Zum einen soll es Personen ermöglicht werden auf dem TransitBuddy befördert zu werden und zum anderen werden nicht wie in den meisten Fällen standardisierte Lasten transportiert, sondern individuelle Gepäckstücke, die unterschiedliche Abmessungen und Formen aufweisen.

2.3.3 Standortbestimmung

Als Grundlage für die Navigation dient die Standortbestimmung und Lageerfassung. In Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen stehen dazu unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Die VDI-Richtlinie 2510 führt folgende Kriterien an:

- Komplexität des Layouts
- Anzahl der Fahrzeuge innerhalb der Anlage
- Länge der Wege zwischen den Stationen
- Genauigkeitsanforderungen
- Häufigkeit von Layoutänderungen
- Bodenbeschaffenheit
- Sonstige Umgebungsbedingungen

Die Standortbestimmung erfolgt in einem gedachten Koordinatensystem, dazu müssen die 3 Freiheitsgrade in der Ebene bekannt sein und darüberhinaus bei mehrstöckigen

Gebäuden auch die Ebene (diese ist beispielsweise durch die nötigen Liftfahrten bekannt und muss nicht gesondert ermittelt werden). Es müssen also die x und y Koordinate sowie die Ausrichtung des Fahrzeugs bekannt sein.

Hierfür sind zwei Vorgänge nötig, einerseits das Koppeln und andererseits das Peilen. Das Koppeln erfolgt meist mittels Odometrie, dabei werden über interne Sensoren die zurückgelegte Strecke und die Fahrtrichtung erfasst. Dieses Koppeln dient der Überbrückung zwischen den Peilvorgängen. Über lange Strecken hinweg ist eine Standortbestimmung mittels Odometrie nicht möglich, da diese durch Messungenauigkeiten in Folge von Schlupf und Verschleiß stets fehlerbehaftet ist. Die Lagepeilung ermittelt also von außen die Lage des Fahrzeugs. Dafür werden vor allem folgende Methoden verwendet:

- Physische Leitlinie
- Einzelne Wegmarken
- GPS
- Künstliche Referenzmarken in der Umgebung
- Natürliche Referenzmarken in der Umgebung
- SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

2.3.4 Energieversorgung

Es muss dafür gesorgt werden, dass der Antrieb, die Steuerungs-, Sicherheits- und Kommunikationssysteme und eventuelle andere mechanische Systeme (z.B. Lastaufnahmemittel) mit Energie versorgt werden.

Je nach Antriebskonzept kommen unterschiedliche Energieversorgungssysteme zum Einsatz. Grob können die Energiequellen in Treibstoffe (Benzin, Diesel, Gas) für Verbrennungsmotoren und Strom für Elektromotoren eingeteilt werden. Von der Energiequelle hängt wiederum die Art der lokalen (Batterie, Tank,...) und stationären (Ladestation, Tankstelle,...) Energiespeicherung ab.

Im Detail soll hier auf die Energieversorgung für elektrisch betriebene FTS eingegangen werden, da dies das gängigste Antriebskonzept darstellt und auch für den TransitBuddy vorgesehen ist. Die heute üblichen Techniken für die Versorgung mit Energie sind Traktionsbatterien und induktive Energieübertragung.

Traktionsbatterien

Vorwiegend zum Einsatz kommende Batteriesysteme sind Blei-Säure-Batterien und Nickel-Cadmium-Batterien. Je nach Anforderungen kommen für diese Systeme unterschiedliche Betriebsarten in Frage:

- **Kapazitiver Betrieb**

Zu Beginn des Einsatzes ist die Batterie vollständig aufgeladen, sodass über die gesamte Betriebsdauer kein neuerliches Aufladen notwendig ist. Im Anschluss an den Einsatz erfolgt eine vollständige Ladung der Batterie. Bei einem Mehrschichtbetrieb können nicht fix verbaute Batterien zwischen den Schichten getauscht werden und außerhalb des Fahrzeugs aufgeladen werden. Dadurch entfällt die Standzeit des Transportfahrzeugs.

- **Kapazitiver Betrieb mit Zwischenladung**

Auch in diesem Betriebsmodus ist die Batterie zu Beginn des Einsatzes vollständig geladen. Um die Einsatzdauer zu verlängern wird die Batterie während etwaiger Stehzeiten zwischengeladen. Am Ende der Arbeitsschicht ist auch hier eine vollständige Aufladung nötig. Durch die Zwischenladungen können zwar kleinere Energiespeicher eingesetzt werden, dafür entsteht aber eine Mehrbelastung, die die Lebenszeit der Batterie verringert.

- **Taktbetrieb**

Im Taktbetrieb sind Batterien mit wesentlich geringeren Kapazitäten im Einsatz, da die Batterie regelmäßig wiederaufgeladen wird. Die Kapazität muss so bemessen sein, dass sie bis zum nächsten Ladezeitpunkt ausreicht. Ein zeitaufwändiges Aufladen am Ende der Schicht oder ein Wechseln der Batterie entfallen. Hauptsächlich kommen hier NiCd-Batterien zum Einsatz, da sie wartungsarm sind und im Gegensatz zu Blei-Batterien in kurzer Zeit mit hohen Strömen geladen werden können.

Induktive Energieübertragung

Bei dieser berührungslosen Form der Energieversorgung wird mittels eines fest im Fahrweg verlegten Leiters die Energie induktiv, also kontaktlos und somit verschleißfrei auf ein oder mehrere Fahrzeuge übertragen. Solche Systeme sind zwar teuer in der Anschaffung und nur für einfache Systemlayouts geeignet, im Betrieb aber wartungs- und abnutzungsfrei.

Hybridsysteme

Hybridsysteme kombinieren die beiden bisher erläuterten Arten der elektrischen Energieversorgung. Damit lassen sich die Stärken beider Systeme nutzen indem die berührungslose Energieübertragung mit einer sogenannten Stützbatterie ergänzt wird. Diese dient der Überbrückung von Unterbrechungen der Induktionsspur, dem Abfangen etwaiger Leistungsspitzen und kann im Störfall eingesetzt werden um das Fahrzeug aus der Fahrspur zu entfernen.

Innovative Energieversorgung

Neue Batterietechnologien wie Lithium-Ionen-Akkumulatoren, die bereits in vielen Kleingeräten (Handy, Laptop, Kamera,...) eingesetzt werden, Lithium-Polymer-Akkus und viele andere Weiterentwicklungen werden zunehmend im Fahrzeugbereich getestet.

Eine weitere Technologie, die für manche Anwendungen bereits getestet wird sind Doppelkondensatoren, die unter dem Namen Supercap bekannt sind. Diese haben eine sehr hohe Leistungsdichte, kurze Ladezeiten und eine sehr hohe Lebensdauer. Dem stehen allerdings Nachteile wie hohe Kosten und eine geringe Energiekapazität gegenüber.

Die Brennstoffzelle ist eine weitere technische Entwicklung, an der seit langem geforscht wird und die eine Zukunftshoffnung für eine effiziente Energieversorgung darstellt. (Braess and Feifert 2013)

2.3.5 Bedienelemente

Die Bedienelemente stellen die Schnittstelle zwischen Nutzer und Fahrzeug dar. Da fahrerlose Transportsysteme üblicherweise im industriellen Bereich angewandt werden, treffen die Aussagen aus der VDI 2510 und anderen Standardwerken hier nur bedingt zu, da sich diese nicht mit personenbefördernden FTS beschäftigen. In diesem Fall interagiert das Fahrzeug ständig mit Personen und ist nicht, wie in der Industrie, darauf ausgelegt möglichst ohne der Bedienung durch Nutzer auszukommen. Außerdem sind die Nutzer des TransitBuddys nicht auf das Fahrzeug eingeschult, deshalb muss die Bedienung möglichst intuitiv und einfach gestaltet sein. Weiters muss das Bedienfeld so positioniert bzw. verstellbar sein, dass es von allen möglichen Nutzergruppen bedient werden kann.

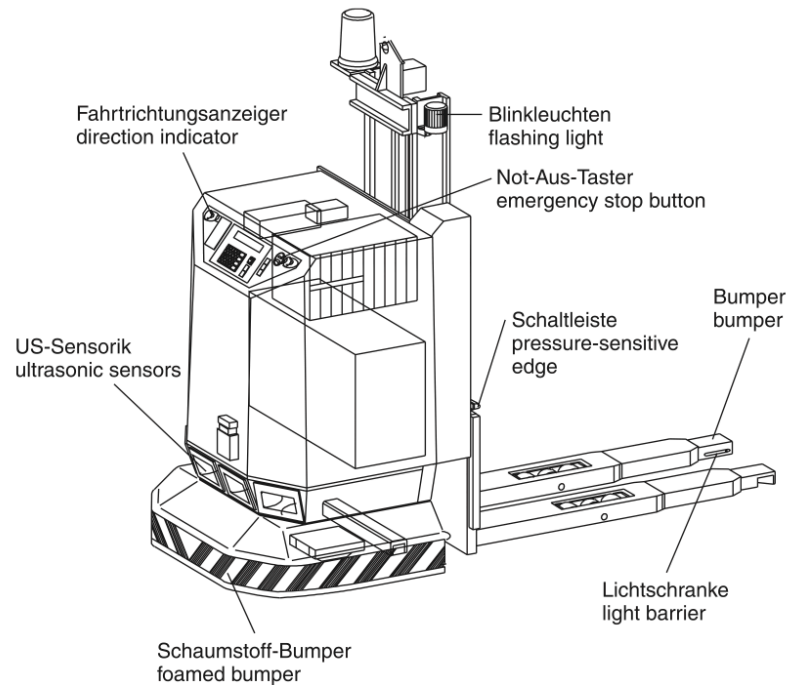
Wie auch im industriellen Gebrauch üblich und in den Standardwerken dargelegt, benötigt das Fahrzeug eine manuelle Steuereinrichtung, um im Wartungsfall oder in Störungsfällen vom Personal bedient werden zu können. Dazu kann entweder das Bedienfeld, das die unmittelbare Schnittstelle zum Nutzer darstellt, oder ein Handsteuergerät verwendet werden. Das Bedienfeld kann als Display mit Tasten oder als Touchscreen ausgestaltet werden. Über dieses Bedienfeld müssen die Auftragseingabe, Hinweise für den Nutzer, Störmeldungen und Statusanzeigen kommuniziert werden.

2.3.6 Warn- und Sicherheitseinrichtungen

In der VDI Richtlinie 2510 und in der DIN EN 1525 sind die minimal vorgeschriebenen bzw. empfohlenen Sicherheits- und Warneinrichtungen fahrerloser Transportfahrzeuge geregelt. Darüberhinaus bietet die VDI-Gesellschaft einen Leitfaden zum Thema FTS-Sicherheit (VDI-Gesellschaft 2010). Diese Einrichtungen (die wichtigsten werden in Abbildung 6 gezeigt) sind für den Schutz von Personen in der Umgebung, das Fahrzeug selbst und andere Objekte nötig. So müssen Blink- oder Blitzleuchten und akustische Warnsignale installiert sein, die auf das sich bewegende Fahrzeug aufmerksam machen. Fahrtrichtungswechsel müssen davon gesondert deutlich sichtbar gemacht werden. Am Fahrzeug muss ein NOT-AUS Taster gut sichtbar und leicht erreichbar angebracht werden, um das Fahrzeug im Notfall manuell zu stoppen.

Von besonderer Bedeutung ist die Erkennung von Personen in der Umgebung des FTF. Früher wurden dafür vor allem berührende Systeme eingesetzt (z.B.: Schaltbügel, Schaumstoff-Bumper,...), welche heute von berührungslosen Systemen abgelöst werden.

Diese ermöglichen das vorzeitige Erkennen von Hindernissen und damit die Vermeidung von Kollisionen. Um solche berührungslose Systeme zu realisieren, stehen immer mehr Technologien zur Verfügung. So werden heute Ultraschall- und Infrarotsensoren, Laserscanner und Kameras eingesetzt. Außerdem



werden die Verfahren zur Verarbeitung der dadurch erhaltenen Daten immer weiterentwickelt. Durch den Einsatz dieser Systeme lassen sich Sicherheits- und Warnbereiche definieren. Während in den Warnbereichen die Geschwindigkeit reduziert wird und eventuell zusätzliche akustische oder optische Warneinrichtungen aktiviert werden, wird das Fahrzeug im Sicherheitsbereich gestoppt. Neben der Erkennung von Personen muss auch die angemessene Überwachung und Sicherung der Ladung gewährleistet sein.

Abbildung 6: Warn- und Sicherheitseinrichtungen (VDI-Gesellschaft 2005, S.18)

erhaltenen Daten immer weiterentwickelt. Durch den Einsatz dieser Systeme lassen sich Sicherheits- und Warnbereiche definieren. Während in den Warnbereichen die Geschwindigkeit reduziert wird und eventuell zusätzliche akustische oder optische Warneinrichtungen aktiviert werden, wird das Fahrzeug im Sicherheitsbereich gestoppt. Neben der Erkennung von Personen muss auch die angemessene Überwachung und Sicherung der Ladung gewährleistet sein.

Da der TransitBuddy nicht wie andere FTS in einer Umgebung mit geschultem Personal agiert, sondern an öffentlichen und hochfrequentierten Orten, gelten auch hier besonders hohe Anforderungen, um einen sicheren und unfallfreien Betrieb zu gewährleisten. Wichtig ist das intelligente Reagieren auf Hindernisse, da sich viele Passanten im Umfeld des TransitBuddys befinden. Das Fahrzeug soll nicht nur bremsen und gegebenenfalls stoppen, sondern aktiv den bewegten und unbewegten Hindernissen ausweichen. Dies muss durch entsprechende Sicherheitseinrichtungen und eine intelligente Fahrzeugsteuerung gewährleistet werden.

2.3.7 Fahrzeug-, Leitsteuerung und Datenübertragung

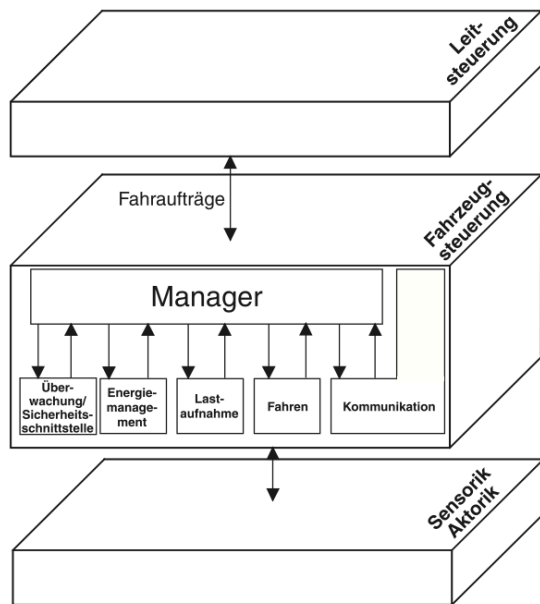


Abbildung 7: Funktionsblöcke der Fahrzeugsteuerung (VDI-Gesellschaft 2005, S.20)

Fahrzeugsteuerung

Die Fahrzeugsteuerung (Abbildung 7), bestehend aus entsprechender Software und Hardware, ist das Bindeglied zwischen Leitsteuerung und der Sensorik und Aktorik des Fahrzeugs. Der Manager kontrolliert und koordiniert die einzelnen Unterbereiche der Fahrzeugsteuerung (Überwachung und Sicherheit, Energiemanagement, Lastaufnahme, Fahren und Kommunikation). Der Funktionsblock „Kommunikation“ stellt das Verbindungsglied zur Leitsteuerung dar.

Leitsteuerung

Die Leitsteuerung (Abbildung 8) koordiniert das FTS in seiner Umgebung, dazu sind Schnittstellen mit der globalen Materialflusssteuerung (im Falle des TransitBuddys ist dies die Koordination der Aufträge), der Fahrzeugsteuerung und den peripheren Einrichtungen und der Infrastruktur vorgesehen. Die Leitsteuerung ist zum Beispiel dafür verantwortlich, die Aufträge unter den Fahrzeugen zu koordinieren, da sie über den Status aller im System befindlichen Fahrzeuge informiert ist. Außerdem erhält die Leitsteuerung die für das System relevanten Daten des HMIs (Human-Machine-Interface), verarbeitet diese und gibt die nötigen Daten dann zurück an das Fahrzeug.

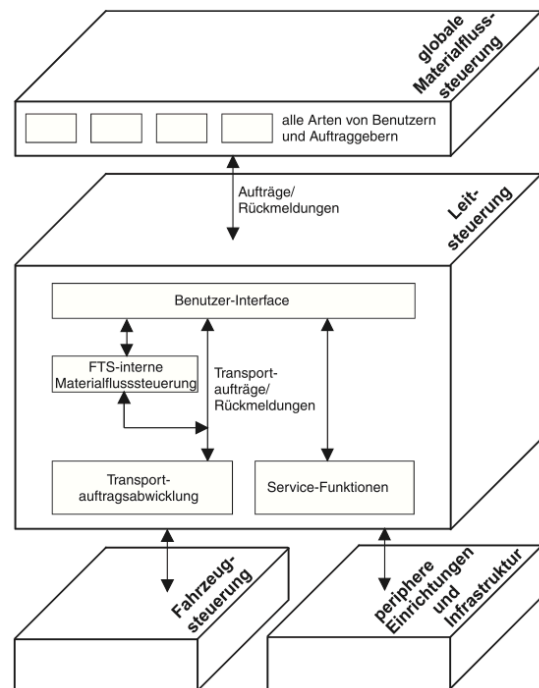


Abbildung 8: FTS Leitsteuerung (VDI-Gesellschaft 2005, S.27)

Datenübertragung

Das System der Datenübertragung stellt den Austausch zwischen der Leitsteuerung, ortsfesten Stationen und den Fahrzeugen selbst sicher. Diese Übertragung erfolgt mittlerweile fast ausschließlich auf drahtlose Weise (meist mittels Funk), was sich für die Kommunikation mit und unter den Fahrzeugen von selbst versteht, aber auch für die stationären Einrichtungen zutrifft. In Tabelle 1 sind die verfügbaren Verfahren (z.B.: induktive Verfahren, Infrarot, Funk,...) für die Datenübertragung dargestellt. Sie lassen sich in drei Wirkungsbereiche unterscheiden:

Datenübertragung		
punktbezogen	streckenbezogen	flächendeckend
induktiv Infrarot	induktiv Infrarot als Richtstrecke	Funk Infrarot mit Weitwinkel- charakteristik

Tabelle 1: Datenübertragungsverfahren und deren Wirkungsbereich (VDI-Gesellschaft 2005, S.36)

- **Punktbezogene Datenübertragung**

Die Datenübertragung erfolgt zwischen definierten Punkten. Am Weg zwischen diesen Punkten ist keine Datenübertragung möglich. Erst wenn das Fahrzeug eine dieser Positionen erreicht, kann wieder eine Kommunikation stattfinden. Ein Beispiel für eine solche punktbezogene Datenübertragung ist, wenn die Leitsteuerung nur mit dem Fahrzeug kommunizieren kann, sofern es sich in einer Ladestation befindet.

- **Streckenbezogene Datenübertragung**

Die Kommunikation mit dem Fahrzeug ist entlang einer Strecke möglich, verlässt das Fahrzeug diese wird die Übertragung unterbrochen.

- **Flächendeckende Datenübertragung**

Die Datenübertragung kann an allen Punkten stattfinden, es muss nur eine entsprechende Systemreichweite gewährleistet sein.

3 Entwicklung des TransitBuddys

Im folgenden Kapitel wird die Entwicklung des TransitBuddys beschrieben. Dabei wird zuerst ein kurzer theoretischer Überblick über die jeweilige Entwicklungsphase gegeben und dann auf die konkreten Umsetzungen eingegangen.

Der Entwicklungsablauf orientiert sich in erster Linie an dem Standardwerk „Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung: Methoden und Anwendungen“ von Pahl/Beitz. Darin liegt das Augenmerk auf einem speziell für den Maschinenbau angepassten Prozess, der sich an den VDI-Richtlinien 2221 und 2222 orientiert. Während sich die Richtlinie 2222 generell mit der Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte und Systeme beschäftigt, geht die VDI-Richtlinie 2221 konkreter auf einige Disziplinen, unter anderem den Maschinenbau ein. Ziel der Anwendung eines Konstruktionsleitfadens ist es, rasch eine Lösung zu erarbeiten, die möglichst alle Aspekte beinhaltet und häufige Änderungen bzw. Iterationen soweit als möglich zu vermeiden.

Pahl/Beitz teilen den Produktplanungs- und Konstruktionsprozess in vier übergeordnete Phasen auf:

- Planen und Klären der Aufgabe
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten

Ein Überblick über den Produktentwicklungsprozess und eine kurze Beschreibung der einzelnen Phasen findet sich in Abbildung 9.

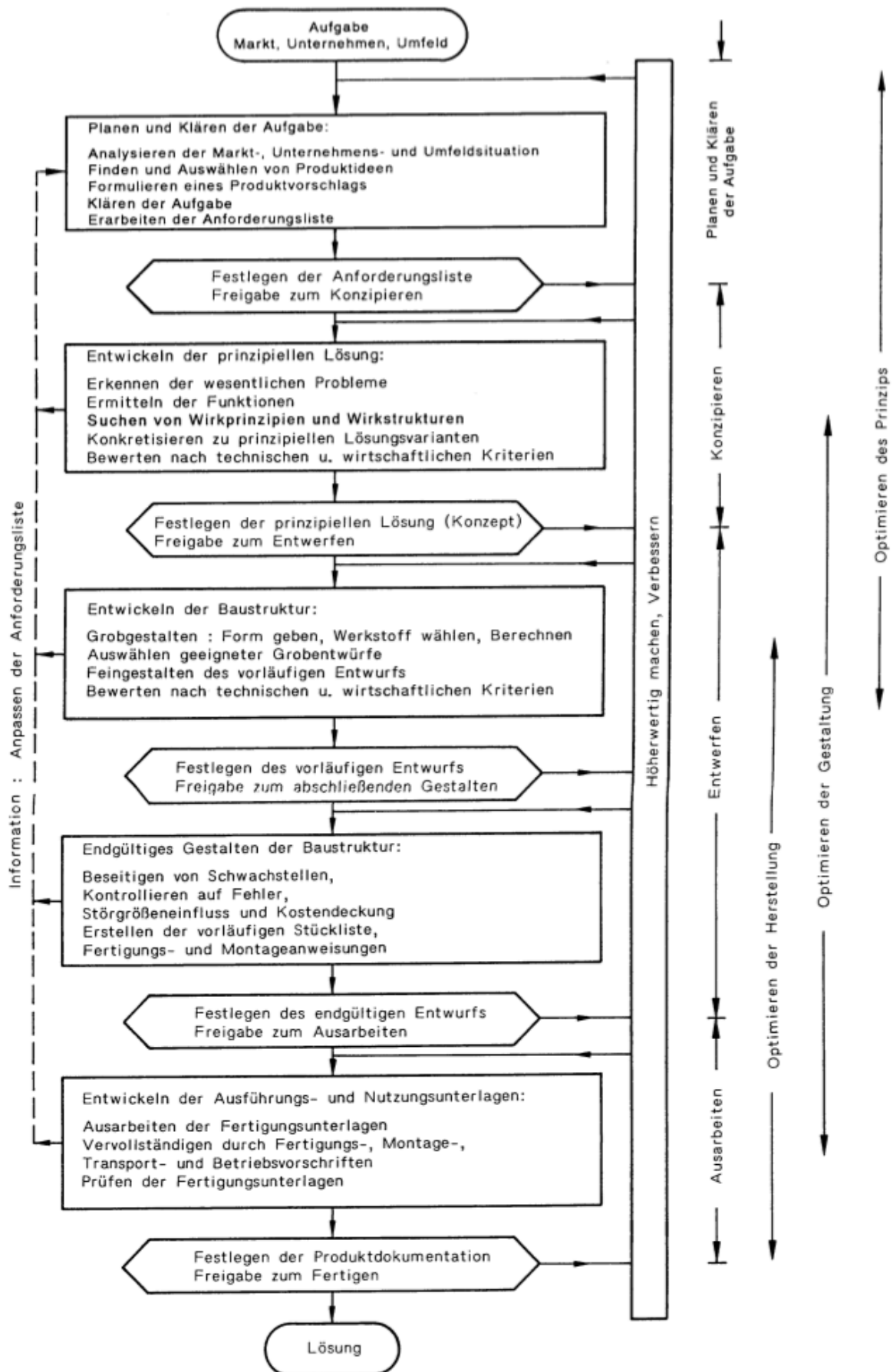


Abbildung 9: Produktentwicklungsprozess (Pahl/Beitz 2005, S. 170)

Aufgrund des frühen Projektstadiums liegt das Augenmerk der vorliegenden Arbeit auf den Bereichen Klären und Präzisieren der Aufgabe und Konzipieren. Im Anschluss daran wird ein vorläufiger Entwurf erarbeitet, der üblicherweise als Grundlage für die endgültige Entscheidung über die Gesamtlösung dient.

4 Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

Beim Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung wird der Auftrag zur Produktentwicklung in konkrete Produktspezifikationen in Form einer Anforderungsliste umgesetzt.

4.1 Theoretischer Hintergrund

Um eine gemeinsame Basis für die Produktentwicklung zu schaffen, müssen alle Anforderungen, die das Produkt letzten Endes erfüllen soll, festgehalten werden. Diese werden in Form einer Anforderungsliste gesammelt und niedergeschrieben. Eine Schwierigkeit beim Erstellen einer Anforderungsliste stellt die möglichst vollständige Erfassung aller Anforderungen dar. Zum einen werden offensichtliche Anforderungen oft nicht ausgesprochen und damit nicht dokumentiert und zum anderen ist es oftmals schwierig, Kundenwünsche präzise zu eruieren und zu formulieren.

Die herausgearbeiteten Anforderungen lassen sich grundlegend in zwei Kategorien unterscheiden:

- Forderungen: Diese müssen jedenfalls erfüllt werden. Ist dies nicht der Fall kann eine mögliche Lösung nicht umgesetzt werden.
- Wünsche: Diese sollen, sofern möglich, erfüllt werden. Auch bei Nichterfüllung dieser Punkte kann eine im Raum stehende Lösung umgesetzt werden.

Außerdem gilt, dass die Beschreibung der Forderungen und Wünsche so genau wie möglich zu erfolgen hat. Bestenfalls quantitativ mit konkreten Zahlen oder in qualitativer Form präzise beschrieben.

Der formale Aufbau einer Anforderungsliste sollte in jedem Fall folgende vier Bereiche abdecken:

- Organisation (z.B.: Unternehmen/Abteilung, Produkt-/Projektbezeichnung, Datum der Erstellung, Seitenanzahl,...)
- Identifikation (z.B.: Versionsnummer, Identifikationsnummer der Anforderung,...)

- Rückverfolgung (z.B.: Kennzeichnung von Änderungen, Verantwortlichkeiten, Quelle der Anforderung,...)
- Inhalt (z.B.: Anforderungsbeschreibung, Anforderungsausprägung, Anforderungsart, Priorisierung der Anforderung,...)

Im Grunde folgt die Anforderungsliste „dem Prinzip der Verbindlichkeit und Vollständigkeit“ (Pahl/Beitz 2005). Ein Problem in dieser Hinsicht besteht darin, dass eine Anforderungsliste zu Beginn des Entwicklungsprozesses nur ein vorläufiges Dokument ist, das im Verlauf des Prozesses ergänzt und geändert wird. Insofern ist die Anforderungsliste ein „lebendes“ Dokument und es ist besonders wichtig, die Formalismen einzuhalten um Änderungen nachvollziehen zu können.

Im Hinblick auf die Vollständigkeit stellt die von Pahl/Beitz bereitgestellte Hauptmerkmalliste eine Orientierungshilfe dar (Anhang 10.2). Darin werden Merkmale von allgemeinen Lösungen zusammengefasst und nach Merkmalgruppen geordnet. Anhand dieser Überbegriffe kann die Anforderungsliste auf mögliche Unvollständigkeiten geprüft werden.

4.2 Aufstellen der Anforderungsliste

Die Anforderungsliste wurde im Projektverlauf ständig erweitert und verändert. Zu Beginn wurde der TransitBuddy für den Gepäck- und Personentransport vorgesehen, dies wurde im Verlauf der Entwicklung dahingehend geändert, dass das Fahrzeug ausschließlich für den Gepäcktransport bestimmt ist. Deshalb haben sich viele Anforderungen verändert bzw. erübrigt. Das folgenden Kapitel bezieht sich auf die erste Version für den Personen- und Gepäcktransport, in Kapitel 5.4.2 werden die Auswirkungen der Konzeptänderung erläutert.

Eine Schwierigkeit beim Erstellen der Liste war, dass keine Normenwerke für den Personentransport mit fahrerlosen Fahrzeugen existieren und sich auch die Gesetzgebung nicht mit der Thematik beschäftigt. Deshalb wurde auf einige existierende Normen zurückgegriffen, die sich mit ähnlichen Themengebieten beschäftigen. Zum Großteil wurden die Norm für fahrerlose Transportsysteme (allerdings ist diese ausdrücklich nicht für den Personentransport gültig) (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 1997) und die Norm für Elektrorollstühle herangezogen und daraus sinnvoll anwendbare Anforderungen abgeleitet.

Eine erste Version der Anforderungsliste wurde am IKL ausgearbeitet und anschließend von den anderen Projektpartnern ergänzt und gegebenenfalls abgeändert. Viele der Forderungen und Wünsche wurden im Zuge einer Kundenbefragung ermittelt und nach einem Feldversuch ergänzt. Nach der Kundenbefragung wurden vom AIT Fokusgruppen abgeleitet, die mögliche Nutzer des TransitBuddys darstellen. Beim Feldversuch wurden Nutzungsszenarien analysiert und dadurch Anforderungen, insbesondere in Hinblick auf die Kommunikation mit dem TransitBuddy, erhoben. Außerdem wurden in einer Begehung des neuen Wiener Hauptbahnhofs die örtlichen Gegebenheiten analysiert und daraus weitere Anforderungen abgeleitet.

Gegliedert wurde die Anforderungsliste in Anlehnung an die von Pahl/Beitz vorgeschlagene Hauptmerkmalliste. Folgend werden die Anforderungen erläutert und die Herkunft bzw. die Hintergrundüberlegungen dargelegt.

4.2.1 Geometrie

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Geometrie	Maximallänge < 140cm	F		Önorm 1600 - Aufzüge
	Maximalbreite < 80cm	F		Önorm 1600 - Türen und Aufzüge
	Maximalhöhe < 180cm	W		
	maximaler Wendekreisdurchmesser < 1,4m	F		Önorm 1600 - Aufzüge (Freifläche)
	Bodenfreiheit mind. 60mm		?	DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Höhe von überfahrbaren Hindernissen: 50mm		?	DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Breite der Räder > 40mm	F		Önorm 1600
	keine scharfen Ecken und Kanten	F		DIN EN ISO 3691
	ausreichend Platz für Gepäck	F		lt. Kundenbefragung
	möglichst niedrige Ladekante	W		

Tabelle 2: Geometrie - Anforderungen

Die Anforderungen an die Geometrie (Tabelle 2) des TransitBuddys resultieren einerseits aus der Vorgabe, dass sich die Maße an bestehenden Gepäckswagen orientieren sollen und andererseits aus beschränkenden örtlichen Gegebenheiten und Normen.

Der maximale Wendekreis wurde mit 1,4 m definiert, da aus der ÖNORM B 1600 (Österreichisches Normungsinstitut 2013) hervorgeht, dass die Fläche innerhalb eines Aufzugs zum Wenden mindestens 150 cm x 150 cm beträgt (Abbildung 10) und ein kleines Spiel vorgesehen wurde.

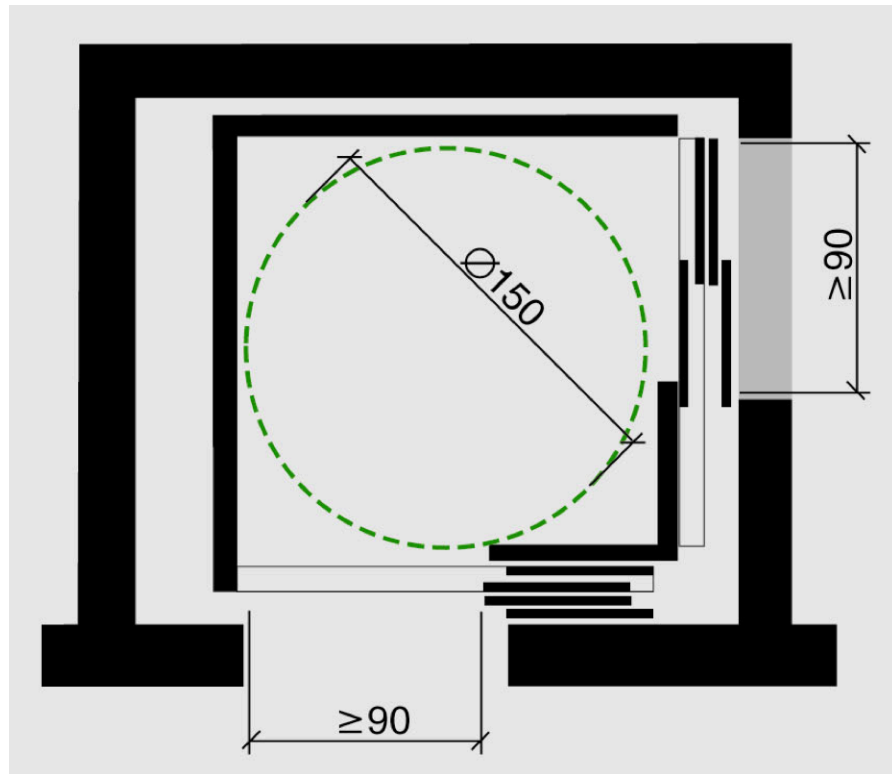


Abbildung 10: Bewegungsfläche im Aufzug (Österreichisches Normungsinstitut 2013, S.17)

Die Mindestbreite der Räder von 40 mm leitet sich einerseits auch aus dieser Norm ab (Mindestbreite von Gitterrosten und Bodengittern) und andererseits aus den am Wiener Hauptbahnhof vorgefundenen Begebenheiten (taktile Leitsysteme und Dehnungsfugen, siehe Abbildung 11 und Abbildung 12)



Abbildung 11: Taktiles Leitsystem

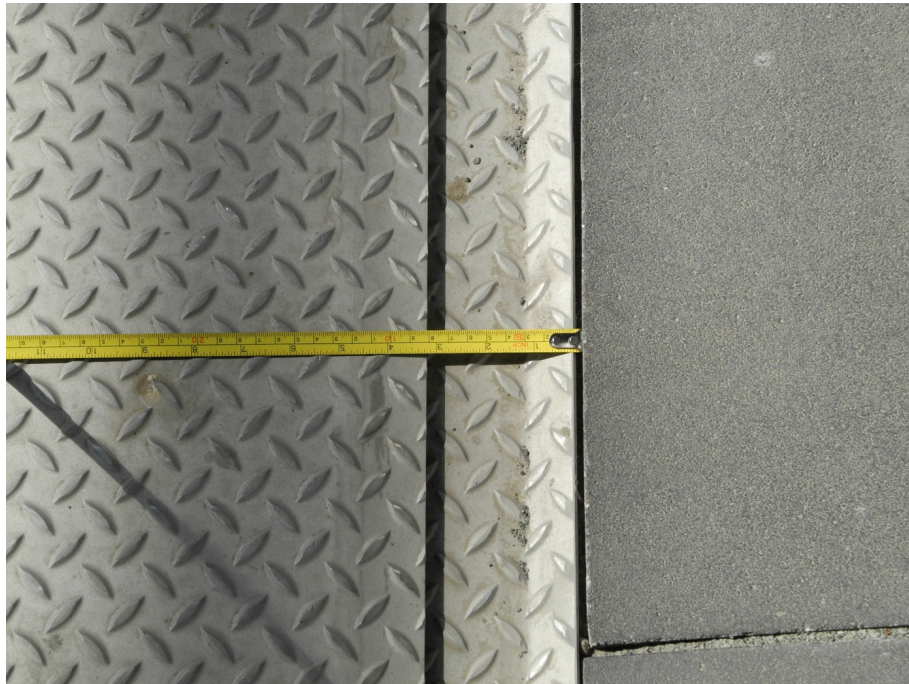


Abbildung 12: Dehnungsfugen am Bahnsteig

Die Werte für die minimale Bodenfreiheit und die Höhe von überfahrbaren Hindernissen wurden aus der Norm DIN EN 12184 übernommen, diese regelt die Mindestanforderungen an Elektrorollstühle. (NARK (Normenausschuss für Rettungsdienst und Krankenhaus) 2014)

Die Forderung nach der Vermeidung von scharfen Ecken und Kanten ist in der DIN EN ISO 3691 geregelt (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 2012).

Der benötigte Platz für das Gepäck wurde aus der Nutzerbefragung und einer anschließenden Entscheidung des Konsortiums festgelegt. Im Feldversuch wurde festgestellt, dass die meisten Nutzer des TransitBuddys eine Ablagemöglichkeit für Alltagsgegenstände (Schirme, Handtaschen, Mäntel etc.) benötigen. Außerdem darf das Ladegut den Ladebereich nicht überschreiten, da ansonsten die Außenmaße des TransitBuddys nicht eindeutig sind.

4.2.2 Kinematik und Kräfte

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft	Änderung
Kinematik	Vorwärts- und Rückwärtsfahren	F			
	Drehen um die Mittelachse	F			
	Flächenbeweglichkeit	W			
	möglichst wenige Brems- und Beschleunigungsvorgänge/min	W			
	so wenig Kurven wie möglich	W		besser Ausweichen als Bremsen	
	Richtwerte für Schwingungen nach ÖNORM ISO 2631-1 sind zu berücksichtigen	F			
	Frequenzen zwischen 4-8Hz und 20-25Hz sind zu vermeiden	F		Eigenfrequenzen von Magen und Beinen	
	max. Geschwindigkeit 1m/s	F			
	Geschw. bergauf (6%) min. 50% von $v_{\max}$ horizontal				
	Geschw. bergab (6%) max 125% von $v_{\max}$ horizontal	F			
	max. Längsbeschleunigung 1m/s^2 bzw. -2m/s^2	F		Lift Report 6/2007	
	max. Beschleunigungsänderung 3m/s^3	F		Lift Report 6/2007	
	maximaler Bremsweg 0,6m auf Waagrechten	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	

Tabelle 3: Kinematik - Anforderungen

Eine notwendige kinematische Anforderung (Tabelle 3) an den TransitBuddy ist das Vorwärts- sowie Rückwärtsfahren, da aufgrund beschränkter Platzverhältnisse eine reine Vorwärtsbewegung nicht ausreichend ist (beispielsweise besteht im Lift nicht die Möglichkeit den TransitBuddy zu wenden).

Das Drehen um die Mittelachse als Forderung entsteht aus den maximalen Abmessungen und dem beschränkten zur Verfügung stehenden Raum an diversen Engstellen wie Bahnsteigen, Bereiche vor Liften usw. (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Um noch besser manövrieren zu können wurde in diesem Zusammenhang Flächenbeweglichkeit als Wunsch formuliert.

Der Wunsch nach möglichst wenigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen sowie wenigen Kurvenfahrten dient dem höheren Komfort des Nutzers. Die Maximalgeschwindigkeit wurde in der Diskussion der Projektpartner mit 1 m/s festgelegt. Die Forderungen für das bergauf und bergab Fahren sowie die des maximalen Bremswegs entsprechen wiederum jenen von Elektrorollstühlen (NARK (Normenausschuss für Rettungsdienst und Krankenhaus) 2014).

Die maximale Längsbeschleunigung bzw. Beschleunigungsänderung wurde in Anlehnung an einen Beitrag zum Thema Fahrkomfort und Kinematik von Lufti R. Al-Sharif gewählt (Al-Sharif 2007). Diese Forderungen sowie die Berücksichtigung der Auswirkung von Schwingungen und Frequenzen auf den menschlichen Körper dienen dem Fahrkomfort der Passagiere.



Abbildung 13: Eingeschränkter Bewegungsraum vor Liften



Abbildung 14: mechanisch zu öffnende und schmale Türen

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Kräfte	hoher Fahrkomfort durch Federung	W		evtl. über Beschleunigungswerte definieren
	zul. Gesamtgewicht 630kg	F		EN 81-70 (Aufzug Typ 2)
	Nutzlast min. 170kg	F		

Tabelle 4: Kräfte - Anforderungen

Hinsichtlich der maximalen Kräfte (Tabelle 4) wurde in Anlehnung an die Norm für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen das zulässige Gesamtgewicht mit 630 kg festgelegt. Dabei soll die maximale Nutzlast für Gepäck und Passagier bei mindestens 170 kg liegen. Eine Federung soll einen möglichst großen Fahrkomfort sicherstellen.

4.2.3 Energie und Stoff

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Energie	Elektroantrieb	F		
	Auslaufsichere Batterie	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	automatisches Laden in Ruheposition	W		
	durchgehende Einsatzdauer 2h	F		

Tabelle 5: Energie - Anforderungen

Als einzig praktisch anwendbare Antriebsvariante wurde ein Elektroantrieb festgelegt. In diesem Zusammenhang wurde von den Projektpartnern eine durchgehende Einsatzdauer von mindestens 2 h gefordert. Außerdem muss der TransitBuddy in der Ruheposition automatisch geladen werden. Entsprechend der Norm für Elektrorollstühle müssen auslaufsichere Batterien verwendet werden. (Tabelle 5)

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Stoff	korrosionsbeständig	F		
	Werkstoffe an Kontaktflächen leicht reinigbar	F		
	Temperaturbereich -25° bis 70°	F		
	Werkstoffauswahl muss so erfolgen, dass unter Einwirkung äußerer Wärmequellen (z.B.: Sonnenlicht) keine zu hohen Oberflächentemperaturen entstehen	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Reifen dürfen keine Spuren hinterlassen	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Beständigkeit gegen Entzündung	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle

Tabelle 6: Stoff - Anforderungen

Ansprüche an die Materialien (Tabelle 6) resultieren aus den Einsatzbedingungen. Wichtig ist die Korrosionsbeständigkeit, die Möglichkeit zur leichten Reinigung der Kontaktflächen und ein Temperatureinsatzbereich zwischen -25°C und 70°C. Außerdem muss auf folgendes geachtet werden: die Beständigkeit gegen Entzündung, eine

geeignete Werkstoffwahl um die Oberflächentemperaturen niedrig zu halten und die Reifen dürfen keine Spuren am Untergrund hinterlassen.

4.2.4 Signal

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Signal	Steuereinrichtungen für Notfälle und Wartung	F		DIN EN 1525
	Warneinrichtung (z.B.: Blinklicht) bei Bewegung	F		DIN EN 1525
	Anzeige der beabsichtigten Richtungsänderung	F		DIN EN 1525
	akustisches Signal		?	
	manuelle Steuerung (für Fahrgäste)		?	
	Fahrzeug anfordern		?	
	Kommunikation mit Lift		?	
	Navigation (Führungslos)		?	
	intelligente Routenplanung	F		
	sicherer und zielnaher Ausstieg	F		
	übergeordnetes Leitsystem	F		Fahrzeugkoordinierung, -reservierung
	Verträglichkeit mit anderen Kommunikationssystemen	F		EMV

Tabelle 7: Signal - Anforderungen

Hinsichtlich der Signale ist besonders die DIN EN 1525 zu beachten, die die Sicherheit von fahrerlosen Flurförderzeugen und ihrer Systeme regelt (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 1997). In deren Sinn muss eine Steuereinrichtung für Notfälle und Wartung, eine Warneinrichtung bei Bewegung und eine Anzeige der beabsichtigten Richtungsänderung am Fahrzeug angebracht sein. Ein akustisches Signal soll dem TransitBuddy die Interaktion mit der Umgebung vereinfachen. Die manuelle Steuerung soll dem Passagier ermöglichen, den TransitBuddy auch selbst zu steuern und nicht nur im automatischen Modus zu fahren. Selbstverständlich muss eine passende Möglichkeit vorhanden sein, um das Fahrzeug anzufordern. Im Hinblick auf die Eigenständigkeit des Fahrzeugs ist das führungslose Navigieren, die intelligente Routenplanung, die Kommunikation mit Liften und die Verträglichkeit mit allen Kommunikationssystemen sicherzustellen. Um die TransitBuddys zu koordinieren, ist außerdem ein übergeordnetes Leitsystem nötig. Ein Punkt, der die Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit betrifft ist das Wählen sicherer, nicht neben Bahnsteigkanten oder Stufen gelegener, und zielnaher Haltepunkte. (Tabelle 7)

4.2.5 Sicherheit

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Sicherheit	Statische Stabilität: in alle Richtungen und Ein-/Aussteigen bei mind. 13% Gefälle	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Dynamische Stabilität: Anfahren bergauf, Anhalten bergab, NOT-STOPP und Wenden bei einer Neigung von mind. 6%	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle
	Insaßenerkennung	F		
	Bremssystem wirksam bei Unterbrechung der Energiezufuhr	F		DIN EN 1525, Berücksichtigung der Holfunktion
	gut zugängliche NOT-AUS-Einrichtungen	F		DIN EN 1525
	Hinderniserkennung in alle Richtungen	F		DIN EN 1525
	Diebstahlsicherung des Gepäcks	F		
	Ladungssicherung	F		
	Rückhaltesystem für Passagier	F		
	Weganzeige	W		
	Diebstahlsicherung für Fahrzeug	F		Aktionsradius begrenzen

Tabelle 8: Sicherheit - Anforderungen

An die Sicherheit müssen sehr hohe Ansprüche gestellt werden, da es sich um ein fahrerloses auf öffentlichen und stark frequentierten Plätzen verkehrendes Fahrzeug handelt.

Die Werte für die statische beziehungsweise dynamische Stabilität wurden wiederum aus der Norm für Elektrorollstühle übernommen (NARK (Normenausschuss für Rettungsdienst und Krankenhaus) 2014). Aus der Norm für fahrerlose Transportsysteme (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 1997) wurde die Forderung nach einem Bremssystem, das auch bei einer etwaigen Unterbrechung der Energiezufuhr wirksam ist, einer gut zugänglichen Not-Aus Einrichtung und einer Hinderniserkennung in alle Richtungen übernommen. (Tabelle 8)

Für den Passagier muss ein der Geschwindigkeit und den maximal zu erwartenden Beschleunigungskräften angepasstes Rückhaltesystem vorhanden sein. Des Weiteren muss der TransitBuddy eine Insaßenerkennung implementiert haben.

Außerdem wurde die adäquate Ladungssicherung als Forderung übernommen und die Diebstahlsicherung des Gepäcks als Wunsch, da sich diese im Zuge der Feldversuche als Kriterium für die Nutzer herausstellte. Eine weitere Forderung ist der Diebstahlschutz des gesamten TransitBuddys, sodass er den definierten Aktionsradius nicht verlassen kann. Der Sicherheitsabstand zu Personen während der Fahrt soll größer oder gleich 0,5 m sein. Des Weiteren wurde die Weganzeige für den Nutzer als Wunsch formuliert.

4.2.6 Ergonomie

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Ergonomie	Einstiegskante so niedrig wie möglich (max. 12cm)	F		
	Bedienraum einhalten	F		
	Sitzhöhe 45-50cm	F		ISO 3411
	Knie/Fußfreiheit: Höhe >70cm, Tiefe >85cm inkl. Sitz	F		ISO 3411
	einfache Bedienung	F		Menüaufbau, Design des Bedienfeldes
	Bedienbarkeit für sehbehinderte Menschen	W		
	Armlehne vorsehen	W		
	barrierefreier Einstieg	F		Bedienpult, Armlehne
	einstellbare Position von Sitz und Bedienelemente	W		
	Haltegriffe vorsehen	W		

Tabelle 9: Ergonomie - Anforderungen

Im Bezug auf die Ergonomie stellen sich viele Anforderungen an die Fahrgastzelle (Tabelle 9). So muss ein entsprechender Bedienraum vorgesehen werden, die Höhe der Einstiegs-kante darf maximal 12 cm betragen und der Einstieg muss barrierefrei gestaltet sein. Sowohl die Sitzhöhe, als auch die Knie- und Fußfreiheit ist nach DIN EN ISO 3411 (NAM (Normenausschuss Maschinenbau) 2007) gewählt. Neben einer Armlehne soll auch ein Haltegriff zur Verfügung stehen.

Weitere Anforderungen beziehen sich auf die Bedienung des TransitBuddys. So soll das Interface für unterschiedliche Nutzergruppen optimiert werden (mobilitätseingeschränkte Personen, sehbehinderte Menschen,...). Dazu soll die Bedien- und Sitzposition anpassbar sein und eine Sprachausgabe ermöglicht werden. Generell soll der Menüaufbau und das Design des Bedienfeldes möglichst intuitiv und einfach gestaltet werden.

4.2.7 Gebrauch

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Gebrauch	Regenbeständig	F		
	Verschmutzungsresistent	F		Rollsplitt etc.
	Temperaturbereich -25° bis 70°	F		
	Lautstärke <60dB	W		
	Sicherung gegen unbefugte Benutzung (z.B.: e-Card)	F		
	vandalismussicher	F		keine losen Teile
	Ticketautomat an Bord	W	?	

Tabelle 10: Gebrauch - Anforderungen

Im Gebrauch stellen sich aufgrund der äußeren Einflüsse und in Absprache mit den Projektpartnern folgende Anforderungen (Tabelle 10):

- Regenbeständigkeit
- Verschmutzungsresistenz

- Temperaturbereich zwischen -25°C und +70°C
- Lautstärke < 60 dB
- Sicherung gegen unbefugte Benutzung (Authentifizierung)
- Sicherheit gegen Vandalismus
- Ticketautomat an Bord

4.2.8 Sonstige Anforderungen

Kategorie	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft
Instandhaltung	Wartungsfrequenz: max 2x pro Jahr	W		
Kosten	maximale Kosten / Fahrzeug		?	
	maximale Kosten für Installation		?	
Termin	31.08.2014 für Konzept + Mock-Up	F		

Tabelle 11: Sonstige Anforderungen

Die übrigen Hauptmerkmale beziehen sich in erster Linie auf spätere Phasen der Produktentwicklung.

Im Hinblick auf die Instandhaltung sollen möglichst geringe Wartungsfrequenzen erreicht werden (als Wunsch wurde maximal 2 mal pro Jahr festgelegt). Die Kosten werden aufgeteilt in Kosten für das Fahrzeug, die Installation und den Betrieb, genaue Maximalwerte hierfür sind in der jetzigen Produktentwicklungsphase noch nicht definiert. Zuletzt wurde der Termin für ein Konzept und ein erstes Mock-up mit 31.8.2014 festgelegt. (Tabelle 11)

4.3 Quality Function Deployment (QFD)

Im Rahmen des Klärens und Präzisierens der Aufgabenstellung wurde außerdem eine QFD-Analyse durchgeführt. Die QFD Analyse geht auf den Japaner Yoji Akao (Pahl/Beitz 2013) zurück, die Methode kommt in der Qualitätssicherung und der Produktplanung zum Einsatz. Ziel ist es, die Kundenanforderungen in den Prozess der Produktentwicklung bzw. -weiterentwicklung einzubinden. Dies sollte in einem möglichst frühen Stadium der Entwicklung stattfinden, um sicher zu gehen, dass die wichtigsten Kundenanforderungen (ausreichend) berücksichtigt werden (QFD Institute 2012). Bei dieser Methode werden Produktmerkmale und Kundenanforderungen miteinander in Verbindung gebracht.

4.3.1 Vorgehensweise bei einer QFD-Analyse

Zur Visualisierung der Analyse dient das House of Quality (Abbildung 15), darin werden alle Anforderung, Produktmerkmale, deren Bewertungen und Korrelationen eingetragen. Zuerst werden die Kundenanforderungen in die Zeilen eingefügt. Hierfür ist es nicht nur notwendig, genau über die Bedürfnisse des Kunden Bescheid zu wissen, sondern den Kunden auch genau zu definieren. So kann je nach Perspektive der Betreiber einer Infrastruktur oder auch der Nutzer einer Infrastruktur der Kunde sein. Es ist wichtig, genau über die Kundenwünsche Bescheid zu wissen. Neben dem Hineinversetzen in den Kunden sind Gespräche und Befragungen ein wichtiges Instrument.

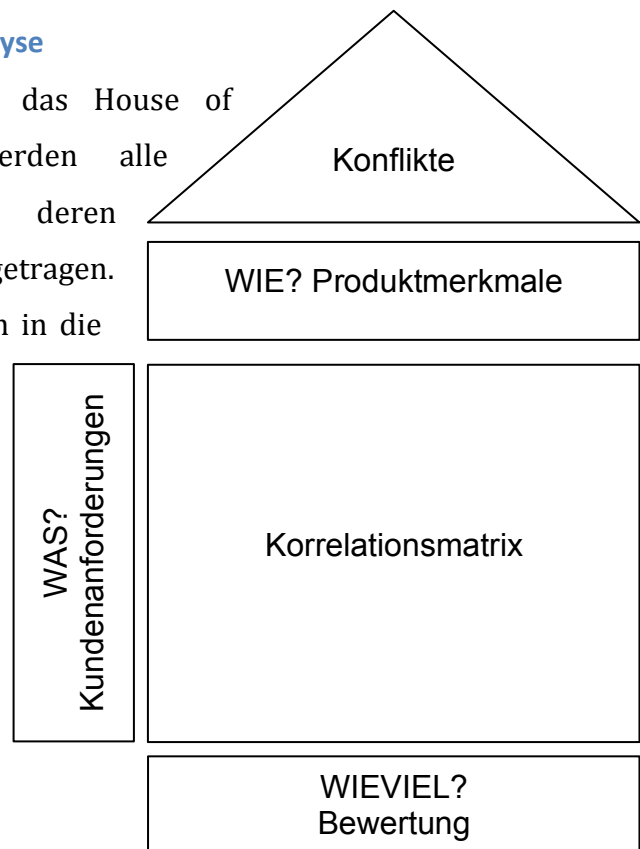


Abbildung 15: House of Quality

In einem zweiten Schritt werden die unterschiedlichen Produktmerkmale in die Spalten eingetragen, dabei steht die Frage im Vordergrund, wie die Anforderungen erfüllt werden.

Anschließend werden die Kundenwünsche hinsichtlich ihrer Wichtigkeit (von 1 niedrig bis 5 hoch) bewertet. In die Matrix in der Mitte des House of Quality werden die Korrelationswerte zwischen dem Kundenwunsch und dem Produktmerkmal eingetragen (9 stark, 3 mittel und 1 schwach). Das sogenannte Dach des House of Quality beinhaltet die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Produktmerkmalen. Diese können sich stark positiv, positiv, negativ oder stark negativ beeinflussen. Sobald alle Werte eingetragen sind, werden in der untersten Zeile die gewichteten Bewertungen berechnet, sie ergeben sich aus der Wichtigkeit der Anforderung multipliziert mit der Relation.

Am Ende der Analyse lassen sich also jene Produktmerkmale identifizieren, die aus Kundensicht eine besonders hohe Bedeutung haben. Außerdem lassen sich kritische Wechselbeziehungen zwischen den Produktmerkmalen herausfinden. In einem weiteren Schritt können die Kundenwünsche auch nach deren Erfüllung bewertet werden und mit Konkurrenzprodukten verglichen werden.

4.3.2 Die wichtigsten Ergebnisse der QFD-Analyse

Insgesamt wurden 24 Kundenanforderungen und 34 Produktmerkmale aufgestellt und nach der bereits beschriebenen Vorgehensweise bewertet und miteinander in Verbindung gesetzt. Nach der Durchführung der Analyse und der Übertragung der Ergebnisse ins House of Quality zeigen sich jene Produktmerkmale, die aus Sicht der Kunden besonders wichtig sind. Die wichtigsten vier Produktmerkmale sind das Platzangebot, die Holfunktion, die angemessene Fahrgeschwindigkeit und ein leistungsfähiges Leitsystem.

Das Platzangebot ist sowohl für die komfortable Sitzposition, den einfachen Zu- und Ausstieg und den Platz für mitgebrachte Objekte von hoher Bedeutung. Das Produktmerkmal „Holfunktion“ steht in Korrelation mit den Kundenwünschen kurze Restwege und Wartezeiten und einfaches Anfordern des Fahrzeugs. Die angemessene Geschwindigkeit ist entscheidend für eine komfortable Fahrweise, eine kurze Transportzeit und die Sicherheit während der Fahrt. Das Leitsystem gewährleistet kurze

Wartezeiten und ist darüberhinaus verantwortlich für das Anfordern und Reservieren von Fahrzeugen.

Die detaillierten Ergebnisse der QFD-Analyse, wie die Auflistung und Bewertung der Kundenanforderungen, der Produktmerkmale und deren Wechselbeziehungen und die Korrelationsmatrix finden sich im Anhang 10.3.

5 Konzipieren

Das Konzipieren schließt sich im Produktentwicklungsprozess direkt an das Planen und Klären der Aufgabenstellung an. Das Konzipieren bezeichnen Pahl/Beitz als das „Festlegen einer prinzipiellen Lösung“. Das Ergebnis dieser Produktentwicklungsphase stellt die Ausgangsbasis für das anschließende Entwerfen des Produktes dar.

5.1 Theoretischer Hintergrund

Die Vorgehensweise des Konzipierens ist in [Abbildung 16](#) dargestellt und teilt sich in folgende 4 Phasen:

- Information und Definition
- Kreation
- Beurteilung
- Entscheidung

Zu Beginn des Konzipierens muss nochmals hinterfragt werden, ob die Aufgabenstellung bereits so weit definiert ist, dass mit der Konzeption begonnen werden kann. Außerdem soll geklärt werden, ob es bereits Lösungen gibt, die die Neukonzeption überflüssig machen und wenn nicht, inwiefern nach dem Leitfaden vorgegangen werden kann.

Letzten Endes soll so ein möglichst prägnanter und lösungsneutraler Leitsatz in Form einer Funktion entstehen.

Das Ergebnis dieses Prozesses nach mehreren Iterationen lautet:

„Sicheres und komfortables Befördern von mobilitätseingeschränkten Personen und ihrem Gepäck mit Hilfe eines autonomen Fahrzeuges zur Minimierung von Fußwegen und Bereitstellung benötigter Informationen.“

5.3 Aufstellen der Funktionsstruktur

In Anlehnung an die vorhin getroffene Abstraktion des Problems stellt die Funktionsstruktur die Verbindung zwischen dem Input und Output dar. Die einzelnen Funktionen sollten möglichst konkret beschrieben werden und immer nach dem selben einfachen Muster formuliert sein. Oftmals bietet sich eine Aufteilung in einen Energie-, Stoff- und Signalfluss an, in diesem Fall wurden Energie- und Signalfluss zusammengefasst und dafür der Stofffluss in Personen- und Gepäckfluss getrennt. Zu Beginn wurde die Gesamtfunktion (Abbildung 17) folgendermaßen dargestellt:

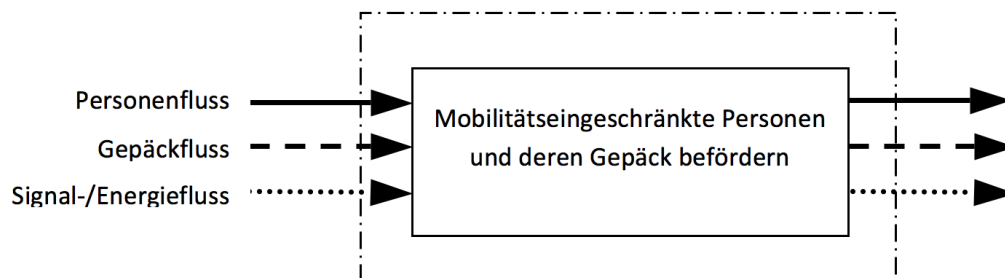


Abbildung 17: Gesamtfunktion

Diese Gesamtfunktion wurde in einem zweiten Schritt weiter detailliert und es ergaben sich folgende vier Hauptfunktionen (Abbildung 18):

- **Person und Gepäck aufnehmen**

Der erste Hauptschritt beinhaltet vor allem das Aufnehmen von Passagier und Gepäck. Dazu gehört das Anfordern des Fahrzeuges und das Aufnehmen und Sichern der Person, sowie des Gepäcks.

- **Person und Gepäck transportieren**

Dieser Punkt beinhaltet alle Bereiche während der Fahrt. Das Navigieren, Steuern und Antreiben des Fahrzeugs, sowie die Interaktion mit dem Passagier stehen im Vordergrund.

- **Person und Gepäck abgeben**

Im letzten Schritt werden die Person und das Gepäck entsichert und dem Passagier somit das Aussteigen und Entladen des Gepäcks ermöglicht.

- **System erhalten**

Neben diesen drei Hauptfunktionen muss parallel dazu das System erhalten werden. Im täglichen Gebrauch zählt dazu beispielsweise das Aufladen des Akkus. In einem längeren Zeithorizont zählt dazu die regelmäßige Reinigung und Wartung des Fahrzeugs.

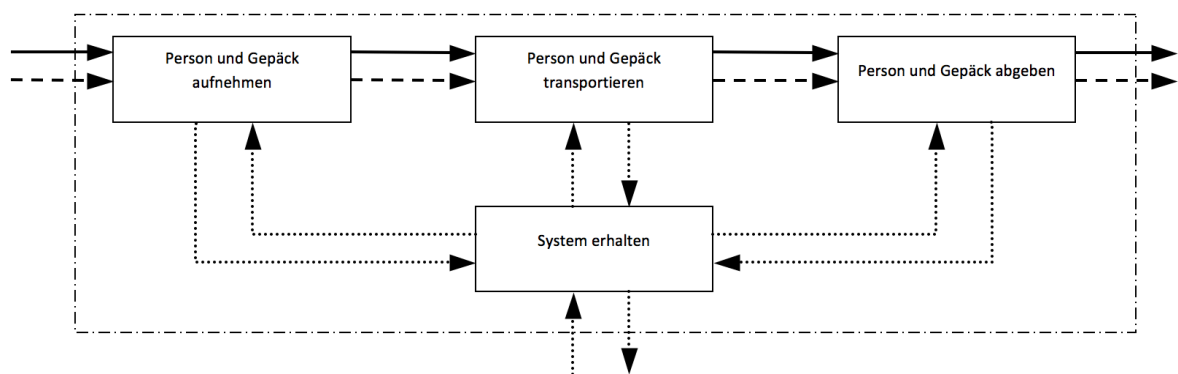


Abbildung 18: Hauptfunktionen

Aus dieser groben Betrachtung heraus wurde schließlich die Funktionsstruktur (Abbildung 19) entwickelt. Diese stellt eine möglichst logische Abfolge dar und berücksichtigt in Grundzügen bereits die später benötigten Elemente der Gesamtlösung. Der Detaillierungsgrad hängt laut Pahl/Beitz von der Aufgabenstellung ab. Handelt es sich um eine Weiterentwicklung, ist die Funktionsstruktur bereits einigermaßen bekannt und dient in erster Linie der Veranschaulichung. Bei einer Neuentwicklung, wie im vorliegenden Fall, stellt das Aufstellen der Funktionsstruktur einen wichtigen Konzeptionsschritt dar. Sie ist im weiteren Prozess nämlich Ausgangsbasis für die Entwicklung der Wirkstrukturen, deshalb ist darauf zu achten, dass die Funktionen so neutral wie möglich formuliert werden, um nicht bereits angedachte Wirkprinzipien zu bevorzugen. Die in rot eingefassten Funktionen sind jene, die für die Arbeitsgruppe am Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik von vorrangiger Bedeutung sind, da sie in deren Aufgabenbereich fallen.

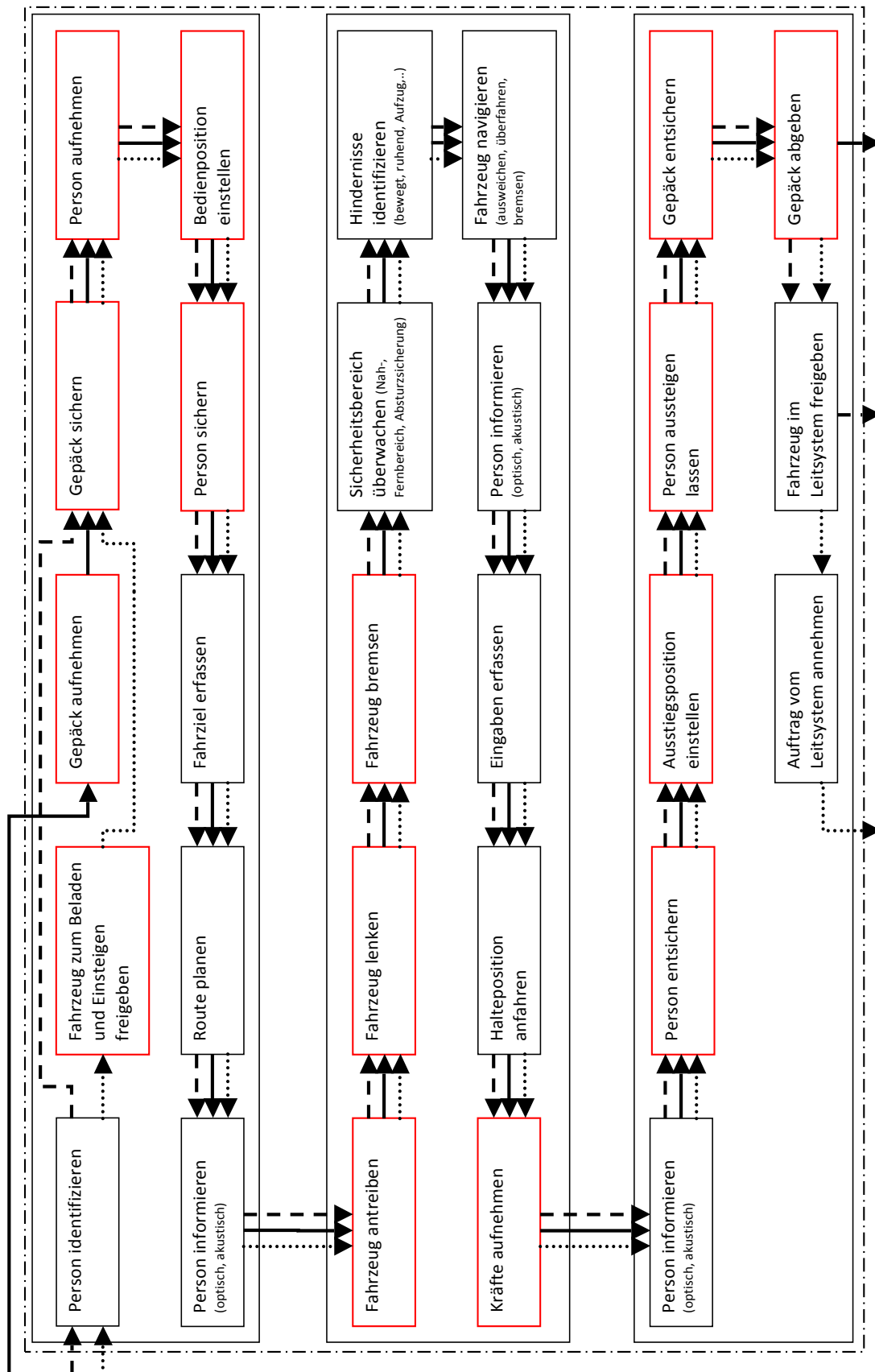


Abbildung 19: Funktionsstruktur

5.4 Aufstellen von Wirkprinzipien

Im nächsten Schritt werden zu den einzelnen Funktionen Lösungen, sogenannte Wirkprinzipien (Tabelle 12), gesucht. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, anhand eines morphologischen Kastens einen Überblick über die Lösungen zu den einzelnen Funktionen zu erhalten. Im Anschluss werden diese Wirkprinzipien zu einer Wirkstruktur kombiniert.

Beim vorliegenden Projekt wurden nun aus dem vorhergehenden Arbeitsschritt jene Funktionen für die Entwicklung der Wirkstruktur übernommen, die vom Institut für Konstruktionswissenschaften und technische Logistik bearbeitet werden. Diese Punkte wurden anschließend weiter aufgegliedert und unterschiedlichen Modulen (Gepäckraum, Fahrgastzelle, Fahrwerk, Rahmen und Energieversorgung) zugeordnet (Tabelle 13). Darüberhinaus wurde zwischen Funktionen unterschieden, für die bereits eine Lösung vorliegt (v.), für die eine Lösung teilweise vorliegt (t.v.) und für die noch keine Lösung vorhanden ist (n.v.).

Für das Fahrwerk, als eine der wichtigsten Komponenten, wurde eine detaillierte technische Bewertung durchgeführt (siehe Kapitel 5.4.1 bzw. 5.5.2). Für die Gepäckaufnahme und die Ladungssicherung wurden ebenfalls einige weiterführende Varianten geprüft und mittels Auswahlliste evaluiert (siehe Kapitel 5.4.2).

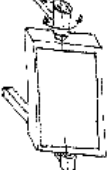
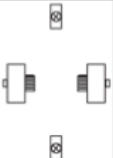
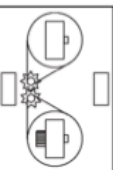
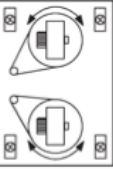
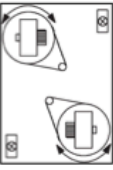
Module	Funktionsstruktur fein	Varianten					
		Ladefläche Gurt	Aufhängung Box mit Schiebetür	Box mit Schwenktür	Bügel	Netz	
Gepäckraum	Gepäck aufnehmen						
	Ladungssicherung						
	Diebstahlsicherung	Ladungssicherung versperribar	magnetisch	mechanisch			
	Sicherungseinrichtung für Gepäck freigeben	manuell	automatisch				
	Sicherungseinrichtung freigeben	manuell	automatisch				
	Sicherungseinrichtung lösen	manuell	automatisch				
Fahrgastzelle	Gepäck abgeben	absenken	Auszug	keine Aktion			
	Person aufnehmen	Sitz quer	Sitz längs				
	Position der Person	höhenverstellbar	längsverstellbar	neigungsverstellbar	drehbar	starr	
	Person sichern	Gurt	Armlehne	Tür	Bügel	Bedienpult	
	Sicherungseinrichtung für Person freigeben	manuell	automatisch				
	Bedienelemente positionieren						
Fahrwerk	Sicherungseinrichtung freigeben (aufsperrern)	manuell	automatisch				
	Sicherungseinrichtung lösen (öffnen)	manuell	automatisch				
	Ausstiegssposition einstellen	manuell	automatisch				
	Person aussteigen lassen	Fahrzeug absenken	Sitz verfahren	keine Aktion			
	Energie wandeln	Elektromotor + Drehzahlsteller					
	Antriebskraft übertragen	Lufträder	Vollgummiräder				
Rahmen	Fahrzeug lenken						
	Im Betrieb bremsen	generatorisch	Scheibenbremse	Trommelbremse	Bandbremse		
	Im Stillstand bremsen	Verschiebeanker	Scheibenbremse	Trommelbremse	Fahrzeug absenken	Formschluss	
	Beschleunigungskräfte aufnehmen	Luffederung	Lufträder	mechanische Federung	Stoßdämpfer		
Energieversorg.	Gewichtskräfte aufnehmen	Stahl	Aluminium	Verbundwerkstoff	Spritzguss		
	Energiespeichern	Akku	Kondensatoren	Brennstoffzelle			
	laden	induktiv	tauschen	Kontakt herstellen			

Tabelle 12: Wirkprinzipien

Funktionsstruktur grob	Funktionsstruktur fein	v	t.v.	n.v.	Module
Gepäck aufnehmen	Gepäck aufnehmen	x			Gepäckraum
	Ladungssicherung		x		Gepäckraum
Gepäck sichern	Diebstahlsicherung		x		Gepäckraum
Fahrzeug zum Beladen freigeben	Sicherungseinrichtung für Gepäck freigeben		x		Gepäckraum
Gepäck entsichern	Sicherungseinrichtung freigeben		x		Gepäckraum
	Sicherungseinrichtung lösen		x		Gepäckraum
Gepäck abgeben	Gepäck abgeben	x			Gepäckraum
Person aufnehmen	Person aufnehmen	x			Fahrgastzelle
	Position der Person		x		Fahrgastzelle
Person sichern	Person sichern		x		Fahrgastzelle
Fahrzeug zum Einsteigen freigeben	Sicherungseinrichtung für Person freigeben		x		Fahrgastzelle
Bedienposition einstellen	Bedienelemente positionieren		x		Fahrgastzelle
Person entsichern	Sicherungseinrichtung freigeben (aufsperrn)		x		Fahrgastzelle
	Sicherungseinrichtung lösen (öffnen)		x		Fahrgastzelle
Ausstiegsposition einstellen	Ausstiegsposition einstellen		x		Fahrgastzelle
Person aussteigen lassen	Person aussteigen lassen	x			Fahrgastzelle
Fahrzeug antreiben	Energie wandeln	x			Fahrwerk
	Antriebskraft übertragen	x			Fahrwerk
Fahrzeug lenken	Fahrzeug lenken		x		Fahrwerk
Fahrzeug bremsen	Im Betrieb bremsen	x			Fahrwerk
	Im Stillstand bremsen	x			Fahrwerk
Kräfte aufnehmen	Beschleunigungskräfte aufnehmen			x	Fahrwerk
	Gewichtskräfte aufnehmen			x	Rahmen
Fahrzeug mit Energie versorgen	speichern		x		Energieversorgung
	laden		x		Energieversorgung

Tabelle 13: Unterteilung in Module

5.4.1 Fahrwerk

Das Fahrwerk stellt eine der wichtigsten Komponenten im Rahmen der Produktentwicklung dar. Diese Baugruppe beeinflusst sowohl die Abmessungen des TransitBuddys als auch die Beweglichkeit. Diese beiden Eigenschaften sind für den Einsatz an öffentlichen und hochfrequentierten Orten von besonderer Bedeutung.

5.4.1.1 Unterschiedliche Fahrwerkskonfigurationen

Als Bewertungsgrundlage wurden die bereits bekannten Fahrwerkskonfigurationen aus der VDI 2510 variiert und erweitert. Grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Typen unterscheiden, linienbewegliche und flächenbewegliche Varianten.

Linienbeweglich:

- Differentialantrieb (Abbildung 21)
- Dreirad-Fahrwerk (Abbildung 22)
- Gekoppelter Lenkantrieb (Abbildung 23)

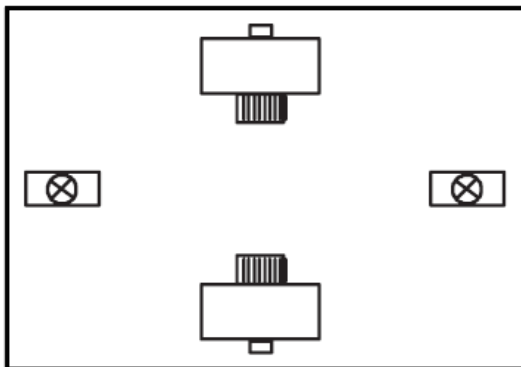


Abbildung 21: Differentialantrieb (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)

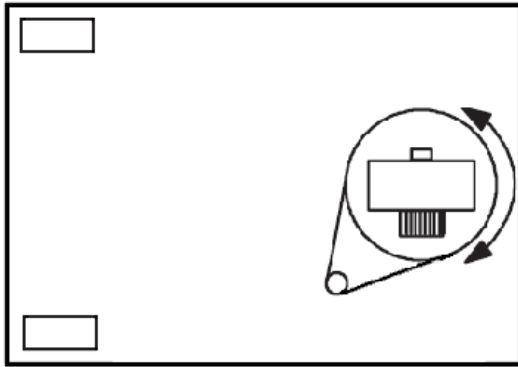


Abbildung 22: Dreirad-Fahrwerk (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)

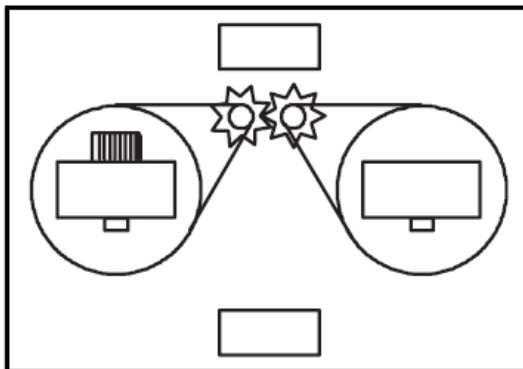


Abbildung 23: Gekoppelter Lenkantrieb (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)

Flächenbeweglich:

- Differentialantrieb mit Drehachse (Abbildung 24)
- Mehrere unabhängig lenkbare und angetriebene Radeinheiten (Abbildung 25 zeigt ein Beispiel für eine solche Konfiguration, alle weiteren Konfigurationen finden sich in der Bewertung im Anhang 10.4)

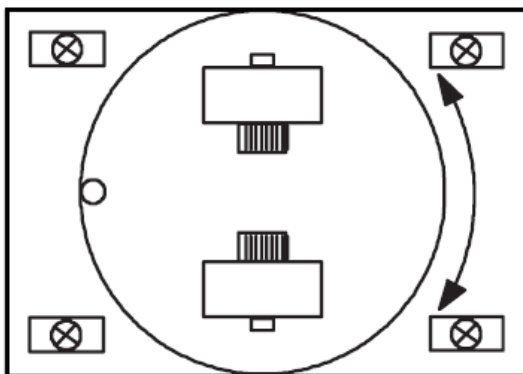


Abbildung 24: Differentialantrieb mit Drehachse (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)

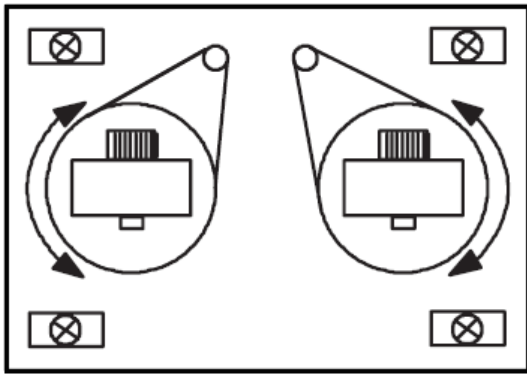


Abbildung 25: Mehrere unabhängige Einheiten (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)

Alle angedachten Varianten wurden anschließend einer Bewertung durch die Arbeitsgruppe unterzogen. Um die Bewertung zu ermöglichen und unterschiedliche Konfigurationen auszuarbeiten, wurden Hersteller von Rädern, Rollen und gesamter Antriebseinheiten kontaktiert und konsultiert. Mit den erhaltenen Daten und Plänen (Platzbedarf und Verbaumöglichkeiten der Komponenten) wurden im Anschluss daran unterschiedliche Varianten (sowohl bezüglich dem Fahrwerk als auch dem Raum für die Fahrgastzelle und das Gepäck) erstellt, um mit einem groben Entwurf die oben angeführten Kriterien beurteilen zu können. Dazu wurden zwei kompakte Antriebe mit unterschiedlicher Bauform verwendet. Einerseits ein Kegelradgetriebemotor der Firma ABM Greiffenberger (Abbildung 26), der zwar sehr hoch baut, dafür aber



Abbildung 26
Kegelradgetriebemotor
ABM Greiffenberger
(www.abm-antriebe.de,
12.9.2014)



Abbildung 27: Radnabenmotor
Schabmüller
(www.schabmueller.de,
12.9.2014)

horizontal kompakt gestaltet

ist. Andererseits ein Radnabenantrieb der Firma Schabmüller (Abbildung 27), der eine geringere Höhe aber dafür eine größere Ausdehnung in der Horizontale aufweist. Mit diesen beiden Antrieben wurden dann die aus der VDI 2510 bekannten Fahrwerkskonfigurationen variiert.

Unter den linienbeweglichen Fahrzeugen wurde nur der Differentialantrieb weiterverfolgt. Das Dreirad-Fahrwerk erfüllt die Anforderung nach einem

Drehen um die Mittelachse nicht und scheidet somit als mögliche Variante aus. Der gekoppelte Lenkantrieb ist in der Umsetzung schwerer zu realisieren und durch die notwendige Verbindung zwischen den Rädern nur bedingt mit den beengten Raumverhältnissen kompatibel.

5.4.1.2 Bewertung

Die Bewertung orientiert sich an der VDI Richtlinie 2225 „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ (VDI-Gesellschaft 1997), die auch von Pahl/Beitz empfohlen wird.

Für die Bewertung wurden in der Arbeitsgruppe zuerst die Kriterien festgelegt:

- Möglichst niedrige Ladekante
- Möglichst niedrige Einstiegs-kante
- Stabilität: Die Stabilität resultiert aus der Anordnung der Räder und Rollen
- Achsanzahl: Aus der Achsanzahl ergibt sich die statische Bestimmtheit oder Unbestimmtheit und in diesem Zusammenhang ein möglicher konstruktiver Mehraufwand
- Gepäckhandling: Je nach Lage des Gepäckfachs ist das Gepäck mehr oder weniger gut zugänglich. Außerdem zeigte sich in der Kundenbefragung, dass die Nutzer auch während der Fahrt das Gepäck im Auge behalten möchten.
- Sitzkomfort: Ausschlaggebend sind der gebotene Platz für den Nutzer in der Fahrgastzelle und die Sitzposition
- Flächenbeweglichkeit: Ist das Fahrzeug in der Lage alle in einer Ebene möglichen Fahrmanöver auszuführen?

Da in dieser Projektphase nur grobe Entwürfe der einzelnen Konfigurationen erstellt werden konnten, wurde eine nicht gewichtete Bewertung gewählt. In der VDI 2225 wird erwähnt, dass diese Form der Bewertung für die meisten Anwendungen ausreichend ist. Für jedes Kriterium wurde ein Wert zwischen 0 (unbefriedigend) und 4 (sehr gut) vergeben. Im Anschluss daran wurde eine Gesamtbewertung in Form des arithmetischen Mittelwerts gebildet und eine Reihung vorgenommen. Diese Bewertung wurde von allen Mitgliedern des Projektteams eigenständig durchgeführt. In der Folge wurden die Diskrepanzen zwischen den jeweiligen Bewertungen besprochen, um so zu einer gemeinsamen Aussage zu kommen. Die Form der Bewertungstabelle wird in

Tabelle 14 ersichtlich. Es sind hier die drei bestgereihten Konfigurationen gezeigt, die Bewertung aller Varianten findet sich in Anhang 10.4.

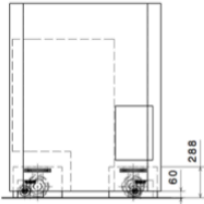
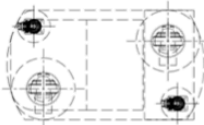
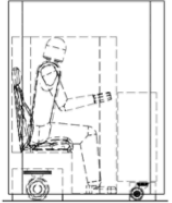
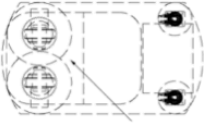
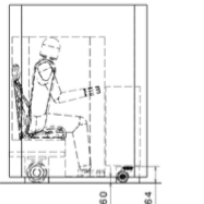
Fahrwerksnummer	Seitenansicht	Grundriss	möglichst niedrige Ladekante	möglichst niedrige Einstiegs-kante	Stabilität	Achszahl	Gepäckhandling	Sitzkomfort	Flächenbeweglichkeit	Gesamtbewertung
7			2	4	4	4	4	2	4	3,4
10			3	4	4	4	4	2	2	3,3
2			3	4	3	4	4	2	2	3,1

Tabelle 14: Fahrwerksbewertung

5.4.1.3 Ergebnis und Diskussion der Fahrwerksbewertung

Unter den linienbeweglichen Fahrzeugen wurde nur der Differentialantrieb weiterverfolgt. Das Dreirad-Fahrwerk erfüllt die Anforderung nach einem Drehen um die Mittelachse nicht und scheidet somit als mögliche Variante aus. Der gekoppelte Lenkantrieb bedarf eines größeren Planungsaufwands und ist durch die notwendige Verbindung zwischen den Rädern nur bedingt mit den beengten Raumverhältnissen kompatibel. Unter den flächenbeweglichen Konfigurationen wurden unterschiedliche Varianten mit unabhängig gelenkten und angetriebenen Radeinheiten untersucht, so wie auch ein Differentialantrieb mit Drehachse.

Die angedachten Konfigurationen und die detaillierten Ergebnisse des Bewertungsprozesses finden sich in Anhang 10.4. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse kurz diskutiert.

Konfiguration 7

Am besten bewertet (Gesamtbewertung 3,4) wurde Konfiguration 7 mit zwei diagonal gegenüberliegenden, gelenkten und angetriebenen Radnabenmotoren (siehe Abbildung 28). Bis auf die Kriterien „möglichst niedrige Ladekante“ und „Sitzkomfort“ erhält diese Konfiguration jeweils die höchste Punktezahl. Die Ladekante liegt oberhalb der Antriebseinheiten und ist dadurch höher als bei anderen Varianten. Der Sitzkomfort ist durch die Position hinter dem Gepäck etwas eingeschränkt.

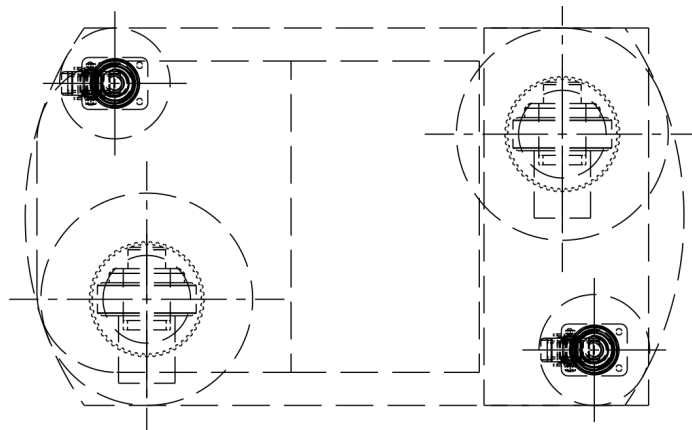


Abbildung 28: Konfiguration 7

Konfiguration 10

Mit einer Gesamtbewertung von 3,3 kam Konfiguration 10 (Abbildung 29) auf den zweiten Rang. Die Ladekante liegt etwas niedriger, da sie nicht über der Antriebseinheit, sondern über den niedrigeren Bockrollen liegt. Für den Sitzkomfort gilt gleiches wie für Konfiguration 7. Die Flächenbeweglichkeit ist durch die nahe zusammen liegenden Antriebsräder eingeschränkt (geringerer Hebel). Ein massives Problem dieser Variante liegt in der Überschneidung der beiden angetriebenen und gelenkten Radeinheiten im hinteren Teil des Fahrzeugs. Hier müsste durch einen konstruktiven Mehraufwand versucht werden, das Problem zu lösen.

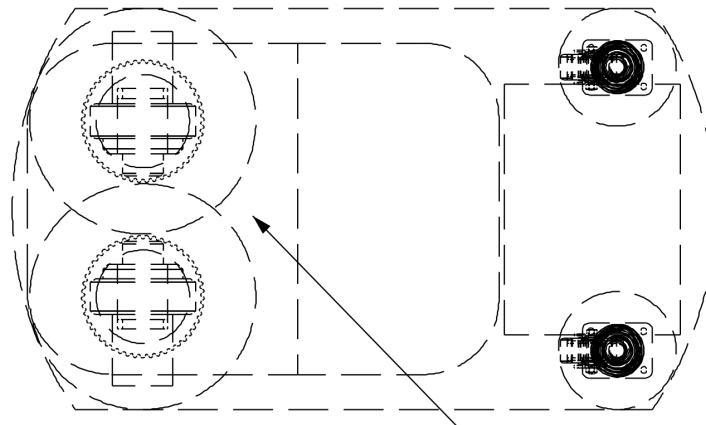


Abbildung 29: Konfiguration 10

Konfiguration 2

Dahinter wurden 5 Konfigurationen mit einer Gesamtbewertung von 3,1 auf Platz 3 gereiht (siehe Anhang 10.4). Darunter sind 4 flächenbewegliche Fahrwerke mit jeweils 2 gelenkten und angetriebenen Radeinheiten sowie 2 Rollen. Punktegleich liegt Konfiguration 2 (Abbildung 30) auf Platz 3, diese soll herausgegriffen werden, da es sich dabei um ein völlig unterschiedliches Fahrwerkskonzept (Differentialantrieb mit Drehachse) handelt. Auch hier liegen, aus den gleichen Gründen wie bei Konfiguration 10, die Schwachpunkte im Sitzkomfort und der Flächenbeweglichkeit. Das Kriterium „möglichst niedrige Ladekante“ wurde ebenfalls mit 3 bewertet, da auch hier das Gepäck über den Bockrollen verstaut wird. Die Stabilität ist etwas niedriger, da die Räder direkt nebeneinander angeordnet sind und durch eine entsprechende Stellung der Drehscheibe die Antriebsräder in Längsrichtung hintereinander liegen können.

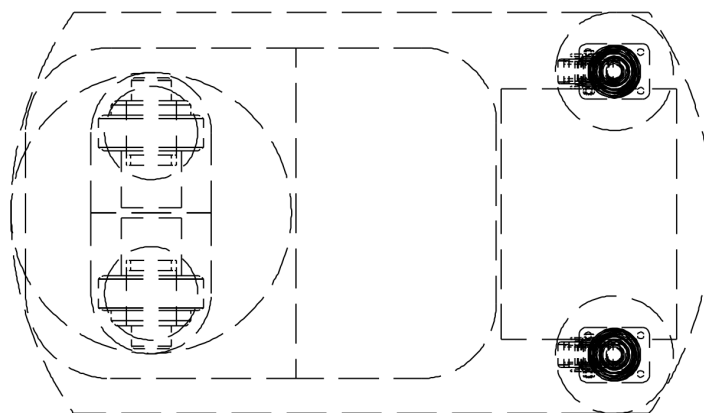


Abbildung 30: Konfiguration 2

Konfiguration 3

Außerdem sei noch das Differentialfahrwerk (Abbildung 31) erwähnt, das vor allem aufgrund der fehlenden Flächenbeweglichkeit nur Platz 21 einnimmt. Außerdem hat das Differentialfahrwerk 3 Achsen, dies führt dazu, dass ohne Gegenmaßnahmen der Fall eintreten kann, dass die mittleren Räder die Bodenhaftung verlieren und das Fahrzeug leicht zur Seite kippt. In allen anderen Punkten, bis auf das Gepäckhandling (4 Punkte) erhält diese Konfiguration 3 Punkte.

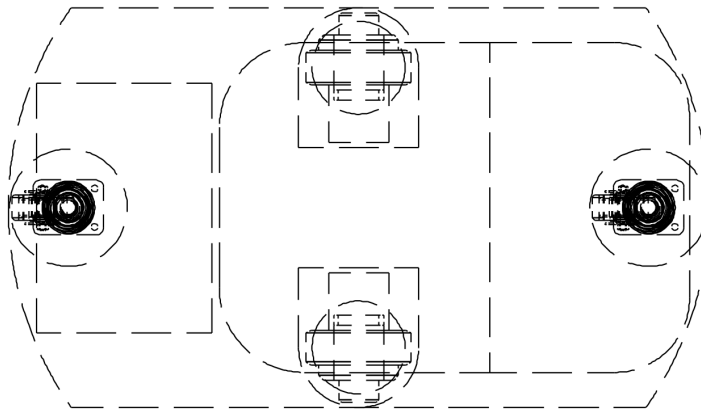


Abbildung 31: Konfiguration 1

5.4.2 Ladungssicherung

Die in Tabelle 12 aufgeführten Varianten zur Ladungssicherung (Gurt, Box mit Schiebetür, Box mit Schwenktür, Bügel, Netz) wurden im Folgenden teilweise konkretisiert bzw. ergänzt. Außerdem wurden die Anforderungen an die Ladungssicherung detaillierter formuliert und um einige wünschenswerte Eigenschaften erweitert. Die möglichen Lösungen wurden anschließend mittels einer Auswahlliste evaluiert.

5.4.2.1 Varianten zur Ladungssicherung

- Einfache Klappe (Variante 1)

Diese Variante ist am einfachsten zu realisieren, hat aber den Nachteil, dass die Zugänglichkeit zur Ladefläche, sofern diese nicht ausgefahren wird, stark eingeschränkt ist. (Abbildung 32)

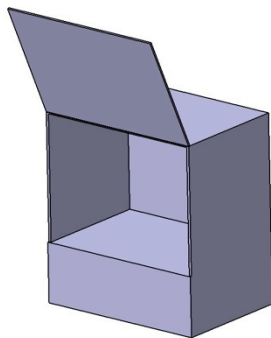


Abbildung 32: Einfache Klappe

- Mehrfache Klappe (Variante 2)

Durch die Unterteilung der Klappe in zwei Teile wird eine bessere Zugänglichkeit von oben gewährleistet. (Abbildung 33)

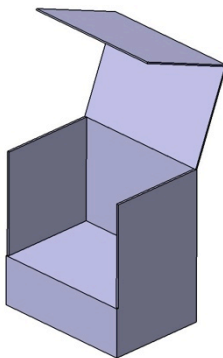


Abbildung 33: Mehrfache Klappe

- Einfache Klappe an der Unterseite (Variante 3)

Darüberhinaus kann auch eine Klappe an der Unterseite montiert werden, sodass sie nach unten weggeklappt wird. Diese Konfiguration hat den Vorteil, dass die Klappe zugleich als Rampe für das Gepäck fungieren kann. Allerdings ist eine relativ große Steigung zu überwinden und die Zugänglichkeit ist nur bedingt gegeben.

- Mehrfache Klappe an der Unterseite (Variante 4)

Die Rampe kann auch aus zwei Elementen bestehen, dadurch wird die Steigung zwar verringert aber dafür der Platzbedarf beim Beladen stark erhöht, was insbesondere auf engen Bahnsteigen zu Problemen führen kann.

- Einseitiger Verschiebemechanismus (Variante 5)

Ein Verschiebemechanismus der Box gewährleistet eine gute Zugänglichkeit und lässt sich leicht automatisieren. (Abbildung 34)

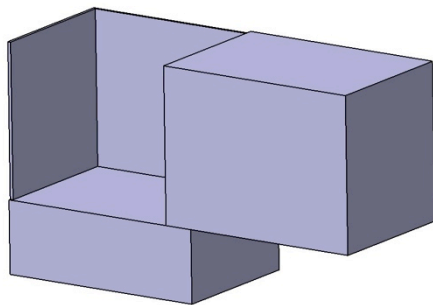


Abbildung 34: Einseitiger Verschiebemechanismus

- Beidseitiger Verschiebemechanismus (Variante 6)

Ein Verschiebemechanismus, der sich in beide Seiten öffnet, bietet eine noch bessere Zugänglichkeit. (Abbildung 35)

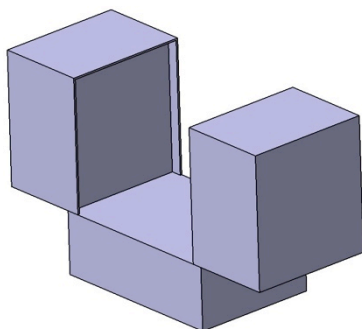


Abbildung 35: Beidseitiger Verschiebemechanismus

- Gliederschürze (Variante 7)

Der große Vorteil einer Rollabdeckung ist, dass zum Öffnen kein Platzbedarf außerhalb des TransitBuddys entsteht. Im Inneren muss allerdings ausreichend Platz für die Elemente der Abdeckung zum Einfahren sein, dies kann einerseits über einen Aufrollmechanismus oder über eine Führung realisiert werden. (Abbildung 36)

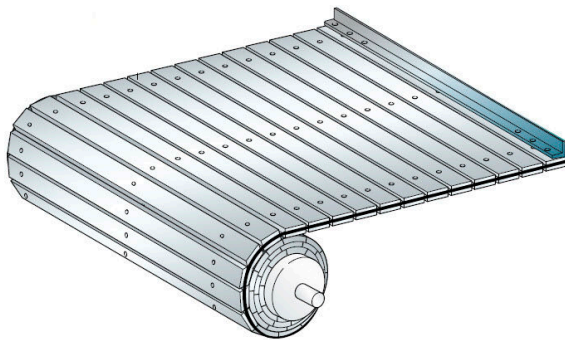


Abbildung 36: Gliederschürze (www.directindustry.de, 3.10.2014)

- Gurt (Variante 8)

Eine vielfach angewandte und bekannte Methode zur Ladungssicherung besteht in der Verwendung von Zurr- oder Spanngurten.

- Bügel (Variante 9)

Auch die Sicherung mittels unflexibler Bügel, die über das Gepäck geklappt werden, ist denkbar. Allerdings ist dieses System nicht flexibel bzw. an das jeweilige Gepäcksstück anpassbar.

- Netz (Variante 10)

Die Ladungssicherung mittels einem Netz, wie sie zur Sicherung von Ladegut auf Anhängern zur Anwendung kommen, ist nur bei einer geometrisch begrenzten Ladefläche ausreichend (um beispielsweise die Ladung gegen Abheben zu sichern). Das Gepäck kann damit aber nicht festgezurt werden.

5.4.2.2 Erstellen der Auswahlliste

Der einzige Punkt aus der Anforderungsliste, der in die Auswahlliste (Tabelle 15) unmittelbar als Forderung einfließt, ist die ausreichende Ladungssicherung (Forderung 58). Alle anderen Forderungen lassen sich mit zusätzlichem Aufwand (zum Beispiel eine Lichtschranke, um den definierten Ladebereich einzuhalten) realisieren oder sind nur als Wunsch formuliert und deshalb kein Ausschlusskriterium.

Andere Forderungen, die zwar auf den ersten Blick relevant erscheinen, stellen sich bei genauerer Betrachtung als unabhängig von der Ladungssicherung heraus. Die Forderung nach ausreichend Platz für zwei große Gepäckstücke (Forderung 9) lässt sich durch die Skalierbarkeit aller Varianten erfüllen. Auch die niedrige Ladekante hängt nur unwesentlich von der gewählten Variante zur Ladungssicherung ab (wird beispielsweise eine Klappe am unteren Ende montiert, kann es zu einer Erhöhung der Ladekante um einige Millimeter kommen).

Zu der Forderung nach angemessener Ladungssicherung kommen also viele wünschenswerte Eigenschaften hinzu:

- Definierter Ladebereich: Die Ladungssicherung selbst sichert zugleich, dass der definierte Ladebereich nicht überschritten wird.
- Zugänglichkeit: Ist eine gute Erreichbarkeit des Gepäcks gewährleistet?
- Diebstahlsicherung: Schützt die Lösungsvariante auch gegen Diebstahl?
- Raumbedarf beim Öffnen: Wie viel Raum wird für die Lösung benötigt?
- Schutzfunktion für das Gepäck: Schützt die Ladungssicherung das Gepäck zugleich vor Stößen, Nässe, etc.

Durch die vielen zusätzlichen Wünschen wurde das Verfahren der Auswahlliste nach Pahl/Beitz modifiziert. Neben den Ausschlusskriterien „Verträglichkeit“, „Forderungen der Anforderungsliste erfüllt“, „Realisierbarkeit“ und „Aufwand zulässig“ wurde für jede zusätzlich erfüllte Eigenschaft ein Punkt vergeben.

5.4.2.3 Ergebnis der Auswahlliste

Bis auf Variante 10 (Netz) sind alle Varianten grundsätzlich umsetzbar. Dadurch, dass das Netz die Form nicht hält und nur schwer festgezurret werden kann, kommt diese Variante nicht in Frage.

Neben diesen Ausschlusskriterien fallen die Varianten 8 und 9 (Gurt bzw. Bügel) durch eine geringe Punktezahl hinsichtlich der wünschenswerten Eigenschaften auf. Dies ist

nicht weiter überraschend, da es sich dabei um nicht geschlossene Ladungssicherungen handelt. Die Lösungsvarianten mit einer einfachen Klappe erlauben den Zugriff zum Gepäck nur von einer Seite und erhalten daher keinen Punkt für eine gute Zugänglichkeit.

TransitBuddy		Auswahlliste Ladungssicherung										
Lösungsvariante	Verträglichkeit gegeben										Entscheidung	Punkte
	Anforderungsliste erfüllt											
	Grundsätzlich realisierbar											
	Aufwand zulässig											
	definierter Ladebereich											
	Zugänglichkeit											
	Diebstahlsicherung											
	Raumbedarf beim Öffnen											
	Schutzfunktion											
	Bemerkungen											
LV	A	B	C	D	E	F	G	H	I			
	1	+	+	+	+	•		•		•	+	3
	2	+	+	+	+	•	•	•		•	+	4
	3	+	+	+	+	•		•		•	+	3
	4	+	+	+	+	•	•	•		•	+	4
	5	+	+	+	+	•	•	•		•	+	4
	6	+	+	+	+	•	•	•		•	+	4
	7	+	+	+	+	•	•	•	•	•	+	5
	8	+	+	+	+				•		+	1
	9	+	+	+	+				•		+	1
	10	+	-								Ladung kann mit Netz nicht festgezurt werden	-

Tabelle 15: Auswahlliste Ladungssicherung

Variante 7 (Gliederschürze) erhält einen Punkt für den geringen Raumbedarf beim Öffnen. Während sowohl bei einem Verschiebemechanismus, als auch bei einer Klappe in engen Bereichen durch das Ausfahren bzw. Aufklappen kritische Situationen entstehen können, entfällt dies bei einem Rollmechanismus. Es muss nur Platz zum Aufrollen bzw. eine Führung zum Verschieben der Elemente vorhanden sein.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde für die nächsten Entwicklungsschritte eine Gliederschürze bevorzugt.

5.5 Konzeptänderung und Verzicht auf den Transport von Personen

Im Anschluss an die Fahrwerksbewertung und somit am Ende des Entwickelns der Wirkstruktur wurde bei einem Konsortialmeeting eine wesentliche Entscheidung getroffen, die ein Abändern der bisherigen Entwicklungsschritte erforderlich machte. Es wurde beschlossen, die Aufgabe des TransitBuddys auf den Gepäcktransport zu beschränken. Nach der Konzeptänderung sollen die Passagiere nicht mehr vom TransitBuddy befördert werden, sondern dieser soll ausschließlich als Informations- und Leitsystem fungieren, dem die Nutzer folgen.

Deshalb werden in diesem Kapitel die Änderungen der bisherigen Konstruktionsphasen beschrieben. Die im Anschluss stattfindenden Entwicklungsschritte beziehen sich ausschließlich auf die Variante für den Gepäcktransport

5.5.1 Änderungen in der Anforderungsliste

Vor allem im Bereich der Kinematik und der Ergonomie des TransitBuddys wurden einige Anforderungen obsolet, die Kategorie „Kommunikation mit dem Benutzer“ wurde neu hinzugefügt. Bei den Anforderungen und Wünschen der übrigen Kategorien kam es zu geringfügigeren Änderungen.

- **Geometrie:** Die Maximalabmessungen wurden herabgesetzt, da für den reinen Gepäcktransport geringere Abmessungen ausreichend sind und das Manövrieren dadurch erleichtert wird. Hinzugefügt wurde die Forderung nach einer Ablage- oder Hängemöglichkeit für zusätzliches Gepäck wie Handtaschen, Schirm, Mantel etc., sowie die Forderung, dass der Ladebereich klar definiert ist und somit kein Ladegut übersteht. Der Wunsch nach einer möglichst niedrigen Ladekante wurde in die Kategorie „Ergonomie“ verschoben.
- **Kinematik:** Durch die geringeren Abmessungen ist weder die Flächenbeweglichkeit, noch das Drehen um die Mittelachse notwendig. Außerdem entfallen die den Komfort der Passagiere betreffenden Forderungen bezüglich des Schwingungsverhaltens und der auftretenden Frequenzen. Genauso verhält es sich für die maximale Längs- und Querbeschleunigung.

- **Kräfte:** Die Forderung nach einer komfortablen Federung wurde verworfen. Die erforderliche maximale Nutzlast wurde auf 80 kg reduziert und dafür eine Forderung nach einem Klappsitz, mit einer maximalen Belastbarkeit von 150 kg, der zur Benutzung im Stillstand gedacht ist, hinzugefügt. Das zulässige Gesamtgewicht wurde auf 400 kg reduziert.
- **Signal:** Die manuelle Steuerung für den Fahrgast wurde aus der Anforderungsliste gestrichen. Dafür wurde die Möglichkeit der Geschwindigkeitswahl für den Nutzer, der dem TransitBuddy nun folgt oder vorausgeht, hinzugefügt.
- **Sicherheit:** In dieser Kategorie wurde die Forderung nach einer automatischen Insaßenerkennung und einem Rückhaltesystem für Passagiere überflüssig. Hingegen wurde die Forderung nach einem Sicherheitsabstand zur benutzenden Person hinzugefügt.
- **Ergonomie:** Rollstuhlfahrer die zuvor konzeptbedingt nicht als mögliche Nutzer berücksichtigt wurden, gehören nun zur Zielgruppe hinzu und das Interface muss entsprechend für diese Gruppe angepasst werden. Die gesamten Forderungen betreffend Ergonomie der Fahrgastzelle (Bedienraum einhalten, Sitzhöhe, Knie- und Fußfreiheit, Armlehne, barrierefreier Einstieg, verstellbare Position von Sitz und Bedienelementen und Haltegriffe) wurden aus der Anforderungsliste gestrichen. Ergänzt wurde die Forderung nach einem Klappsitz und der anpassbaren Bedienelemente am TransitBuddy.
- **Gebrauch:** Es soll zwei unterschiedliche Nutzungsmodi geben, das Vorausfahren und das Hinterherfahren des TransitBuddys. Hinzugefügt wurde die Forderung nach „freier Verwendbarkeit in den vorgesehenen Flächen“, was bedeutet, dass das Fahrzeug am gesamten Einsatzort zur Verfügung steht. Von der Anforderungsliste genommen wurde hingegen die Forderung nach einem Ticketautomaten an Bord des Fahrzeugs.

- **Kommunikation mit Benutzer:** Diese Kategorie wurde bei einem Konsortialmeeting neu hinzugefügt und umfasst folgende Wünsche und Forderungen:
 - Fahrzeug anfordern: Möglichkeit der Anforderung über Rufsäule, Smartphone und evt. Gesten
 - Eingaben vor der Fahrt: Ziel und gewünschte Geschwindigkeit
 - Interaktion während der Fahrt: Screen, RFID, Gesten und physischer Kontakt
 - Bedienung an Zwischenhalten: Reservierung während der Zwischenstopps
 - Beladen / Entladen: Der TransitBuddy muss erkennen, ob er bereits beladen bzw. entladen ist
 - Interface: Konzept für die Gestaltung des Interfaces (grafisch und akustisch)
 - Information des Nutzers über Richtung und Entfernung zum Ziel
 - Freien TransitBuddy während der Fahrt stoppen
 - Lesegerät für Tickets etc. mittels Barcode oder QR-Code
 - Statusanzeige wenn der TransitBuddy nicht fährt: Reserviert / frei, Batteriestatus,...
 - Fahrzeug freigeben: Berechtigungskarte oder ähnliches entnehmen bzw. RFID mit TransitBuddy koppeln
- **Kontrolle:** Die Forderung nach einer Identifikation der Nutzer (mittels Berechtigungskarte, Smartphone, RFID oder anderer Methoden) wurde hinzugefügt. Da der Passagier nicht mehr mit dem TransitBuddy mitfährt, muss die Entfernung zwischen Nutzer und Fahrzeug gemessen werden, damit sich der TransitBuddy nicht unzulässig weit entfernt. Außerdem muss in diesem Zusammenhang eine Stoppfunktion vorgesehen werden, die es dem Nutzer erlaubt, das Fahrzeug während der Fahrt zu stoppen.

In Anhang 10.5 findet sich die Anforderungsliste in ihrer aktuellsten Version. Dabei sind die verworfenen Anforderungen grau markiert und andere Änderungen farbig hervorgehoben.

5.5.2 Änderungen am Fahrwerk

Die veränderten Anforderungen im Bereich der Kinematik (Entfall von „Drehen um die Mittelachse“ und „Flächenbeweglichkeit“) und der Entfall der Fahrgastzelle haben große Auswirkungen auf die Fahrwerkswahl. Deshalb wurden die möglichen Fahrwerke einer neuerlichen Bewertung (siehe Abbildung 37) unterzogen. Es wurden die Kriterien „möglichst niedrige Einstiegs-kante“ und „Sitzkomfort“ entfernt, da sich diese ausschließlich auf den Personentransport beziehen. Aufgrund der veränderten Anforderungen wurde auch das Dreirad-Fahrwerk in die neuerliche Beurteilung miteinbezogen. Unter den flächenbeweglichen Fahrwerken wurden jene ausgewählt, die in der ersten Bewertung am besten abschnitten.

Interessanterweise stellt sich unter den veränderten Anforderungen heraus, dass nun sowohl eines der flächenbeweglichen Fahrwerke, das Differentialfahrwerk sowie ein Dreirad-Fahrwerk die selbe Gesamtpunktezahl erreichen.

Das Dreirad-Fahrwerk erreicht hohe Werte aufgrund der niedrigen Ladekante (das Gepäck kann zwischen den beiden Rollen im hinteren Bereich des Fahrzeugs geladen werden) und der geringen Räder- bzw Achsanzahl (damit verbunden der Entfall konstruktiver Maßnahmen gegen ein Abheben einzelner Räder). Bedingt durch die Verteilung der Räder zeigt das Dreirad-Fahrwerk im Vergleich zu anderen Konfigurationen Nachteile in punkto Stabilität.

Das Differentialfahrwerk erhält sehr ausgeglichene Bewertungen. Sowohl das Kriterium der Ladekante (das Gepäck wird oberhalb der Rollen gelagert), der Stabilität und der Räder- bzw. Achsanzahl wurden mit 3 bewertet. Das Gepäckshandling wird mit 4 bewertet.

Das flächenbewegliche Fahrwerk in Konfiguration 7 (siehe Abbildung 28) punktet durch eine hohe Stabilität und ein einfaches Gepäckshandling. Nachteile ergeben sich aus einer, im Vergleich zu den anderen Konfigurationen, höheren Ladekante.

Diese drei Varianten werden in Kapitel 6.3 in Form eines vorläufigen Entwurfs näher beschrieben und dargestellt.

	1	1	4	2	2	2	3	2	2	4
	3	4	1	4	4	4	2	4	2	4
	2	2	4	2	4	4	2	3	4	4
	1	1	2	4	4	4	2	3	4	3
	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein
	7	8	11	12	12	12	12	12	13	13
	SUMME									

Abbildung 37: Fahrwerksbewertung nach der Konzeptänderung

5.6 Entwickeln der Wirkstruktur

Ziel des Entwickelns einer Wirkstruktur ist es, ausgehend vom morphologischen Kasten, unterschiedliche Wirkprinzipien zu kombinieren und dadurch einen kohärenten Lösungsweg aufzuzeigen. Es muss dabei darauf geachtet werden, dass sich die Einzellösungen gegenseitig nicht widersprechen und alle Teilfunktionen erfüllt werden. Am Ende dieses Prozesses stehen eine oder mehrere prinzipielle Lösungsvarianten.

Aufgrund der Konzeptänderung mussten einige Funktionen und Wirkprinzipien überarbeitet werden. So wurden jene Funktionen, die die Fahrgastzelle betreffen gestrichen und jene, die durch die zusätzlich festgelegten Anforderungen entstanden, ergänzt (siehe Tabelle 16).

Funktionsstruktur grob	Funktionsstruktur fein	v	t.v.	n.v.	Module
Fahrzeug zum Beladen freigeben	Sicherungseinrichtung für Gepäck freigeben		x		Gepäckraum
Gepäck aufnehmen	Gepäck aufnehmen	x			Gepäckraum
Gepäck sichern	Ladungssicherung		x		Gepäckraum
	Diebstahlsicherung		x		Gepäckraum
Kleingegegenstände aufnehmen	Kleingegegenstände aufnehmen		x		Gepäckraum
Gepäck entsichern	Sicherungseinrichtung freigeben		x		Gepäckraum
	Sicherungseinrichtung lösen		x		Gepäckraum
Gepäck abgeben	Gepäck abgeben	x			Gepäckraum
Bedienbarkeit sicherstellen	Bedienelemente halten		x		Bedienpult
	Position am Fahrzeug			x	Bedienpult
	Bedienelemente aursichten		x		Bedienpult
Fahrzeug antreiben	Energie wandeln	x			Fahrwerk
	Antriebskraft übertragen	x			Fahrwerk
Fahrzeug lenken	Fahrzeug lenken und antreiben		x		Fahrwerk
Fahrzeug bremsen	Im Betrieb bremsen	x			Fahrwerk
	Im Stillstand bremsen	x			Fahrwerk
Kräfte aufnehmen	Beschleunigungskräfte aufnehmen			x	Fahrwerk
	Gewichtskräfte aufnehmen			x	Rahmen
Fahrzeug mit Energie versorgen	speichern		x		Energieversorgung
	laden		x		Energieversorgung

Tabelle 16: Überarbeitete Übersicht der Funktionen und deren Unterteilung

Im Anschluss an das Erstellen des morphologischen Kastens wurden in einem ersten Schritt einige Wirkprinzipien ausgeschlossen, da sie die Anforderungen nicht erfüllten oder ein zu hoher konstruktiver oder wirtschaftlicher Aufwand zu erwarten war. Andere Entscheidungen wurden auf Grundlage der Fahrwerksbewertung und dem Auswahlverfahren für die Ladungssicherung getroffen.

Im Hinblick auf ein Konsortialmeeting wurden nun die bisher evaluierten und gestaltbestimmenden Funktionen herausgenommen, um für diese Teilentwürfe anzufertigen. Diese sollen im Konsortium besprochen werden, um zu entscheiden

welche Lösungsvarianten weiterentwickelt werden. So wurden Entscheidungen darüber, ob etwas automatisch oder manuell geschehe, das Wirkprinzip der Bremsen, usw. vorerst nicht getroffen. Diese offenen Punkte sind in Tabelle 17 grau hinterlegt.

5.6.1 Betroffene Entscheidungen und Begründung

- **Gepäcksaufnahme**

Die Aufnahme des Gepäcks kann entweder auf einer Ladefläche oder mittels einer Aufhängung stattfinden. Eine Aufhängung lässt sich mit den Anforderungen nach einer Ladungssicherung, einem definiertem Ladebereich, usw. nicht realisieren. Deshalb fiel die Entscheidung auf eine Ladefläche.

- **Ladungssicherung**

Die Ladungssicherung soll gemäß der Auswahlliste (Tabelle 15) mittels eines Rolltors erfolgen.

- **Gepäck aufnehmen/abgeben**

Das Gepäck kann vom Nutzer ohne Unterstützung direkt auf die Ladefläche gebracht werden (keine Aktion). Alternativ dazu kann durch einen Auszug (mit oder ohne zusätzlicher Absenkung) oder eine Klappe das Beladen des TransitBuddys erleichtert werden. Entwürfe zu diesen Varianten finden sich in Kapitel 6.2.

- **Bedienelement halten**

Aufgrund der Forderung nach vandalismussicherer und robuster Gestaltung wurden die Varianten mit einer Teleskopsäule bzw. einem Gelenkarm verworfen.

- **Position des Bedienelements am Fahrzeug**

Eine seitliche Positionierung der Bedienelemente wurde ausgeschlossen, da eine Anordnung an der Vorder- oder Hinterseite des TransitBuddys logischer erscheint. Außerdem ist die Aufnahme des Gepäcks seitlich angedacht.

Module	Funktionsstruktur fein	Varianten					
Gepäckraum	Sicherungseinrichtung für Gepäck freigeben	manuell	automatisch				
	Gepäcksaufbewahrung	Ladefläche	Aufhängung				
	Ladungssicherung	Gurt	Rolltor	Schwenkbar	Verschleißmechanismus	Bügel	Netz
	Diebstahlsicherung	mechanisch versperrbar	magnetisch versperrbar				
	Kleingegenstände aufnehmen	Haken	Box	Schirmständer (Rohr)			
	Sicherungseinrichtung freigeben	manuell	automatisch				
Bedienpult	Sicherungseinrichtung lösen	manuell	automatisch				
	Gepäck aufnehmen/abgeben	Auszug	Auszug + Absenkung	Klappe	keine Aktion		
	Bedienelemente halten	Säule	Teleskopstütze	Gelenkarm	direkt am Fahrzeug		
	Position am Fahrzeug	vorne, mittig	hinten, mittig	an Ecken	seitlich		
Fahrwerk	Bedienelemente ausrichten	Gelenkarm	Translation	Rotation	T+R	starr	
	Energie wandeln	Elektromotor + Drehzahlsteller					
	Antriebskraft übertragen	Lufräder	Vollgummiräder				
	Fahrzeug lenken und antreiben	Differentialantrieb	gekoppelter Lenkantrieb	2 Lenk/Antriebsräder, 2 drehbare Stützräder	Differentialantrieb mit Drehachse	Dreirad-Fahrwerk	
	Im Betrieb bremsen	generatorisch	Scheibenbremse	Trommelbremse	Bandbremse		
	Im Stillstand bremsen	Verschiebeanker	Scheibenbremse	Trommelbremse	Fahrzeug absenken	Formschluss	
Rahmen	Beschleunigungskräfte aufnehmen	Luftfederung	Lufräder	mechanische Federung	Stoßdämpfer	keine Maßnahme	
	Gewichtskräfte aufnehmen	Stahl	Aluminium	Verbundwerkstoff	Spritzguss		
	Energiespeichern	Akku	Kondensatoren	Brennstoffzelle			
	laden	induktiv	tauschen	Kontakt herstellen			

Tabelle 17: Überarbeitete Wirkprinzipien

- **Bedienelement ausrichten**

Da die Montage der Bedienelemente mittels Gelenkarm bereits verworfen wurde, wird diese Variante auch hier ausgeschlossen. Das reine translatorische Verfahren der Bedienelemente führt bei relativ hohem Konstruktionsaufwand zu keiner ausreichenden Verbesserung der Bedienposition. Translatorisches verschieben ergibt nur in Kombination mit einer rotatorischen Einstellmöglichkeit eine sinnvolle Lösung

- **Fahrzeug lenken und antreiben**

Gemäß der Fahrwerksbewertung (Kapitel 5.5.2) kommen ein Differentialfahrwerk, ein Dreirad-Fahrwerk und eine Kombination aus 2 angetriebenen und gelenkten Radeinheiten mit 2 drehbaren Rollen in Frage.

Der Übergang von der Konzeptions- zur Entwurfsphase fand nicht nach dem von Pahl/Beitz vorgeschlagenem Produktentwicklungsprozess statt. Am Ende der Konzipierung stand keine prinzipielle Gesamtlösung für das Produkt, sondern einzelne Teillösungen, die im Anschluss an die Entscheidung des Konsortiums anhand von Teilentwürfen zusammengesetzt werden. Es wurde trotz der Teillösungen darauf geachtet, dass sich die Einzellösungen nicht widersprechen, was ein wichtiges Kriterium einer Wirkstruktur nach Pahl/Beitz darstellt.

6 Methodisches Entwerfen

Im Anschluss an das Konzipieren folgt im Produktentwicklungsprozess das Entwerfen. Am Beginn der Entwurfsphase steht die prinzipielle Lösung (das Konzept). Diese wird über einige Zwischenschritte zu einem endgültigen Gesamtentwurf weiterentwickelt, der am Ende des Entwurfsprozesses steht.

6.1 Theoretischer Hintergrund

Pahl/Beitz (2005) definieren das Entwerfen folgendermaßen:

„Unter Entwerfen wird der Teil des Konstruierens verstanden, der für ein technisches Gebilde von der Wirkstruktur bzw. prinzipiellen Lösung ausgehend die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet. Das Ergebnis des Entwerfens ist die gestalterische Festlegung einer Lösung.“

Das Entwerfen besteht dabei wieder aus vielen einzelnen Arbeitsschritten, die in Abbildung 38 dargestellt sind. Die wichtigsten Phasen bei der Entwicklung vom Konzept zum Gesamtentwurf sind dabei das Grob- und Feingestalten mit der Festlegung auf einen vorläufigen Gesamtentwurf und im Anschluss das Vervollständigen und Kontrollieren des Entwurfs.

Im Folgenden werden vorläufige Entwürfe für 3 unterschiedliche Hauptbaugruppen des TransitBuddys erstellt. Zuerst werden unterschiedliche Varianten zur Gepäcksaufbewahrungen bzw. Gepäcksaufnahme modelliert und kurz beschrieben. Bei der zweiten Betrachtung werden die aus der Bewertung der Fahrwerke hervorgegangenen möglichen Konfigurationen in einem höheren Detaillierungsgrad präsentiert. Im Anschluss daran werden noch Varianten gezeigt, wie der Aufbau des TransitBuddys hinsichtlich der Ladungssicherung mit einer Gliederschürze, der Bedienelemente und des geforderten Klappsitzes aussehen könnte. Diese vorläufigen Entwürfe sollen anschließend in einem Konsortialmeeting diskutiert werden, um zu entscheiden, welche Varianten weiterverfolgt werden. Daneben werden Überlegungen angestellt, wie eine mögliche Verringerung des Platzbedarfs erreicht werden kann.

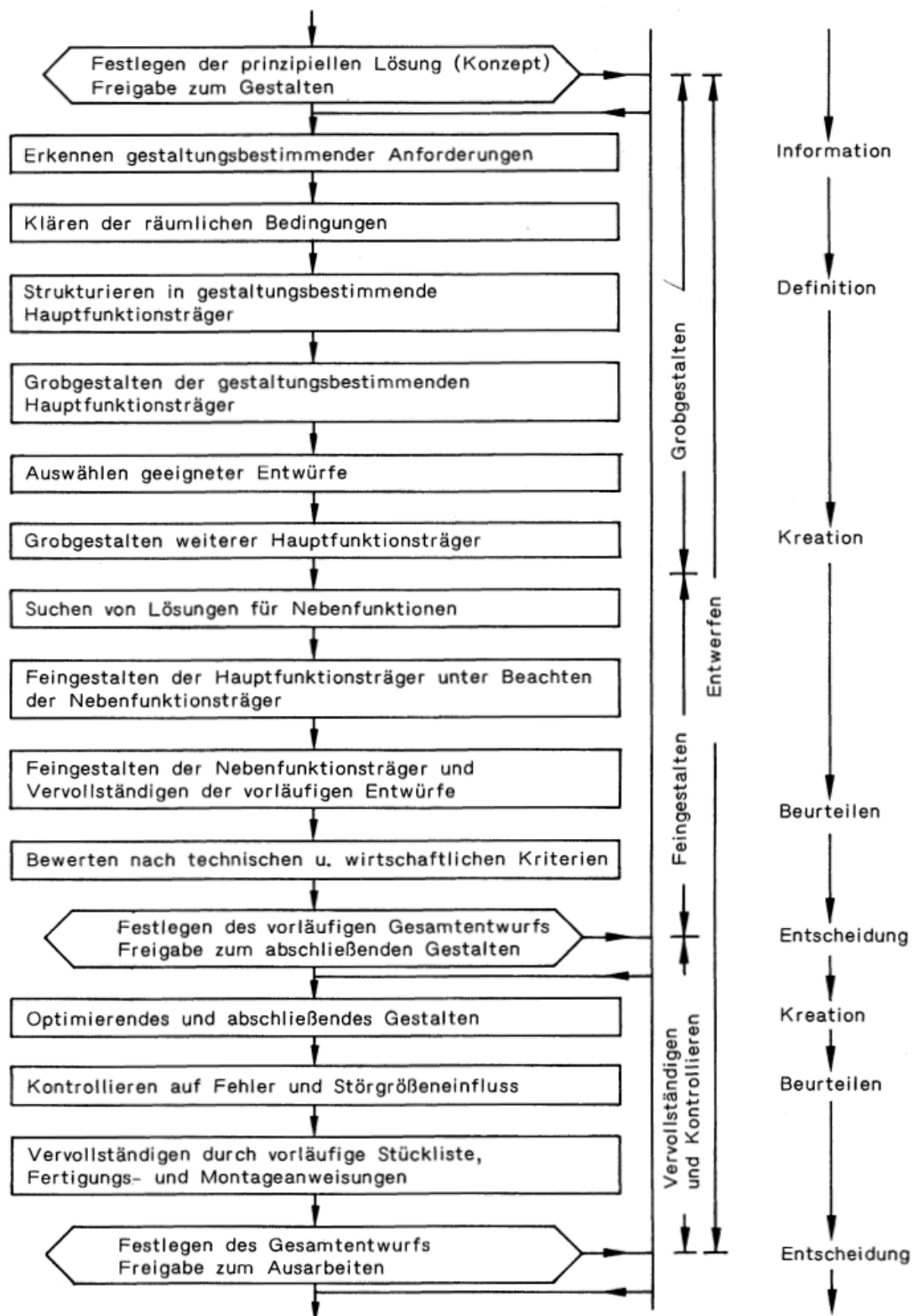


Abbildung 38: Hauptarbeitsschritte des Entwerfens (Pahl/Beitz 2005, S. 278)

6.2 Gepäcksaufbewahrung

Da die Aufbewahrung des Gepäcks einen besonders wichtigen und gestaltbestimmenden Aspekt darstellt, wurden in Anlehnung an die bereits erarbeiteten Wirkprinzipien unterschiedliche Variationen bzw. detailliertere Lösungen ausgearbeitet.

Als Plattform diente für alle Varianten ein Unterbau mit einem Differentialfahrwerk und den laut Anforderungsliste festgelegten Maximalabmessungen (100 cm x 70 cm). Um zu überprüfen, ob die jeweilige Variante mit den nötigen Sicherheitseinrichtungen kompatibel ist, wurde an zwei Ecken ein Laserscanner angebracht. Es wurde der Sick Laserscanner S300 Mini verwendet, der mit einem Scanwinkel von 270°, einer Warnfeldreichweite von 8 m und einem einstellbaren Schutzfeld eine leistungsfähige Option darstellt (Abbildung 39). Weiters wurden in jeder Abbildung zwei der in der Anforderungsliste aufgeführten Gepäckstücke zur Veranschaulichung geladen. Außerdem wurden die vorgestellten Lösungsvarianten mit einem Rolltor kombiniert.



Abbildung 39: Sick Laserscanner S300 Mini (www.directindustry.com, 16.10.2014)

- **Fixe Ladefläche**

Eine fixe Ladefläche stellt natürlich die konstruktiv einfachste Lösung dar. Allerdings ist dadurch die Zugänglichkeit je nach Verschlussmechanismus stark eingeschränkt und die Ladekante liegt sehr hoch.

- **Ausziehbare Lade**

Eine ausziehbare Lade (Abbildung 40) stellt eine einfach zu realisierende Lösungsvariante dar. In Kombination mit einem Differentialfahrwerk kann diese Variante besonders leicht realisiert werden, indem der Auszug mit einer der drehbaren Rollen verbunden wird. Die Zugänglichkeit wird deutlich erleichtert, die Ladekante bleibt aber in der selben Höhe wie bei einer fixen Ladefläche.

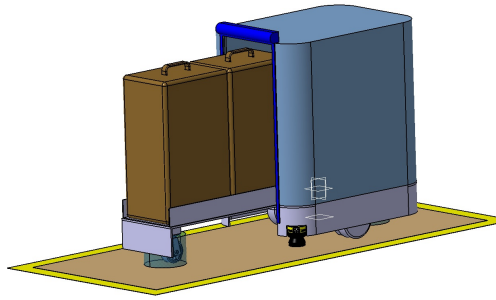


Abbildung 40: Ausziehbare Lade

- **Ausziehbare Lade, die nach unten kippt**

Eine Variante stellt eine Lade dar, die im ausgezogenen Zustand nach unten kippt (Abbildung 41). Durch das nach unten Kippen kann auf einer Seite eine sehr niedrige Ladekante erreicht werden und die Koffer können hinaufgezogen werden. Ein Problem dieser Lösung besteht in der zusätzlich benötigten Kraft, um die Lade wieder in die Horizontale zu bringen.

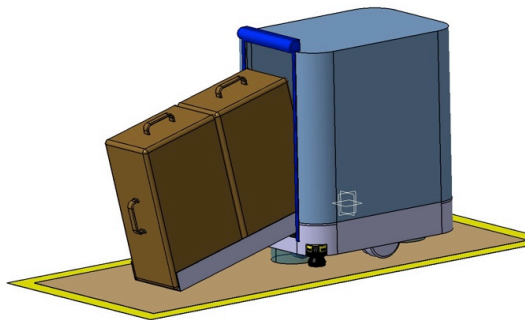


Abbildung 41: Ausziehbare Lade, die nach unten kippt

- **Ausziehbare Lade mit Schräge**

Gegenüber der zweiten Variante besteht hier (Abbildung 42) der Vorteil, dass die Lade einfach und ohne großen Kraftaufwand wieder in die Ursprungsposition gebracht werden kann. Dem steht ein größerer Platzbedarf für die Schräge gegenüber.

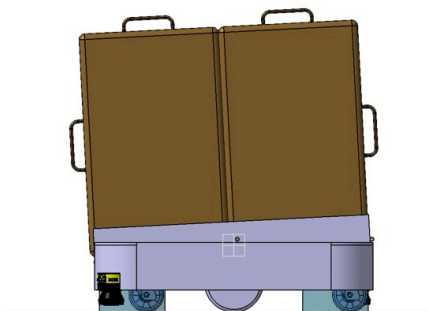


Abbildung 42: Ausziehbare Lade auf schräger Ebene

- **Linearführung**

Bei dieser Variante wird die Ladefläche eben abgesenkt, dadurch ergibt sich die niedrigste Ladekante aller Varianten. Demgegenüber ist der konstruktive Aufwand einer Linearführung (Abbildung 43) hoch, da Bewegungen in zwei unterschiedlichen Achsen notwendig sind.

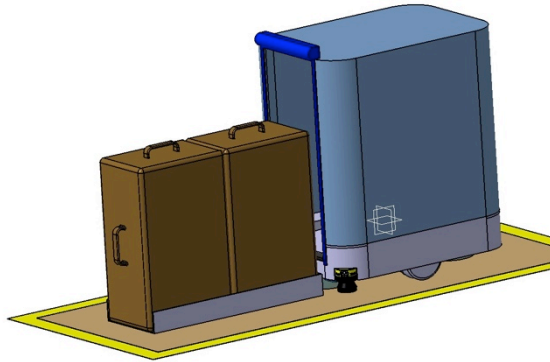


Abbildung 43: Linearführung

Die hier aufgezeigten Varianten können sowohl automatisch wie auch manuell ausgeführt werden.

6.3 Fahrwerkskonfigurationen

Jene Fahrwerke, die sich nach der neuerlichen Bewertung (Kapitel 5.5.2) als beste Optionen herausgestellt haben, wurden in einem vorläufigen Entwurf weiter ausgestaltet.

Die vorläufigen Entwürfe sind mit handelsüblichen drehbaren bzw. nicht drehbaren Bockrollen ausgeführt. Für die gelenkten und angetriebenen Einheiten wurde wie bereits zuvor auf den Radnabenmotor der Firma Schabmüller zurückgegriffen. Bei den Antriebseinheiten des Differentialfahrwerks handelt es sich ebenfalls um einen handelsüblichen Radnabenantrieb. Um das Warn- bzw. Schutzfeld zu scannen, wurden wiederum S300 Mini Laserscanner verwendet.

In diesen vorläufigen Entwürfen wurde darauf verzichtet, die Batterie und andere elektronische Komponenten miteinzubeziehen, da diesbezüglich noch keine Entscheidungen getroffen wurden, die Komplexität stark erhöht werden würde und die Entwürfe nur als Entscheidungsgrundlage für die Fahrwerkswahl dienen sollen. Aus diesem Grund wurde auch darauf verzichtet, unterschiedliche Aufbauten, die grundsätzlich mit jeder Fahrwerkskonfiguration verträglich sind, anzubringen.

Jede Variante wird zuerst als vereinfachte Skizze dargestellt, in der die möglichen Fahrtrichtungen angezeigt sind. Außerdem wurde ein 3D-Modell erstellt und 2D-Zeichnungen, in denen die wichtigsten Maße eingetragen wurden.

Dreirad-Fahrwerk

Das Dreirad-Fahrwerk wurde nach der Konzeptänderung wieder als eine mögliche Variante aufgenommen. Ein Vorteil liegt darin, dass nur eine Antriebs- und Lenkeinheit benötigt wird. Dadurch wird nur wenig Einbauraum benötigt und die Kosten sind gering. Zwischen den hinteren Rollen, die nicht gelenkt sind, lässt sich eine Absenkung realisieren. Dadurch kann die Ladekante für ein Gepäckstück sehr niedrig ausfallen. Bei zwei Gepäckstücken kann dieser Vorteil nicht mehr genutzt werden. Nachteil dieser Fahrwerkskonfiguration sind eine geringere Stabilität gegenüber vierrädrigen Varianten, eine bevorzugte Fahrtrichtung, kein Drehen um die Mittelachse und keine Flächenbeweglichkeit. (Abbildung 44-46)

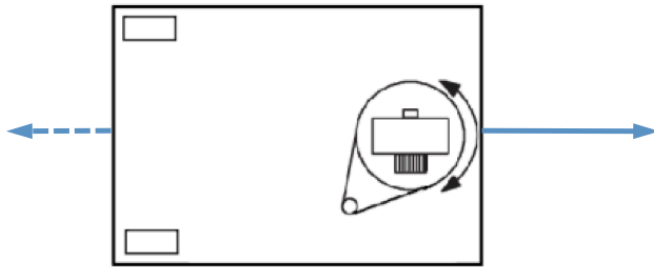


Abbildung 44: Skizze Dreirad-Fahrwerk



Abbildung 45: 3D-Modell Dreirad-Fahrwerk

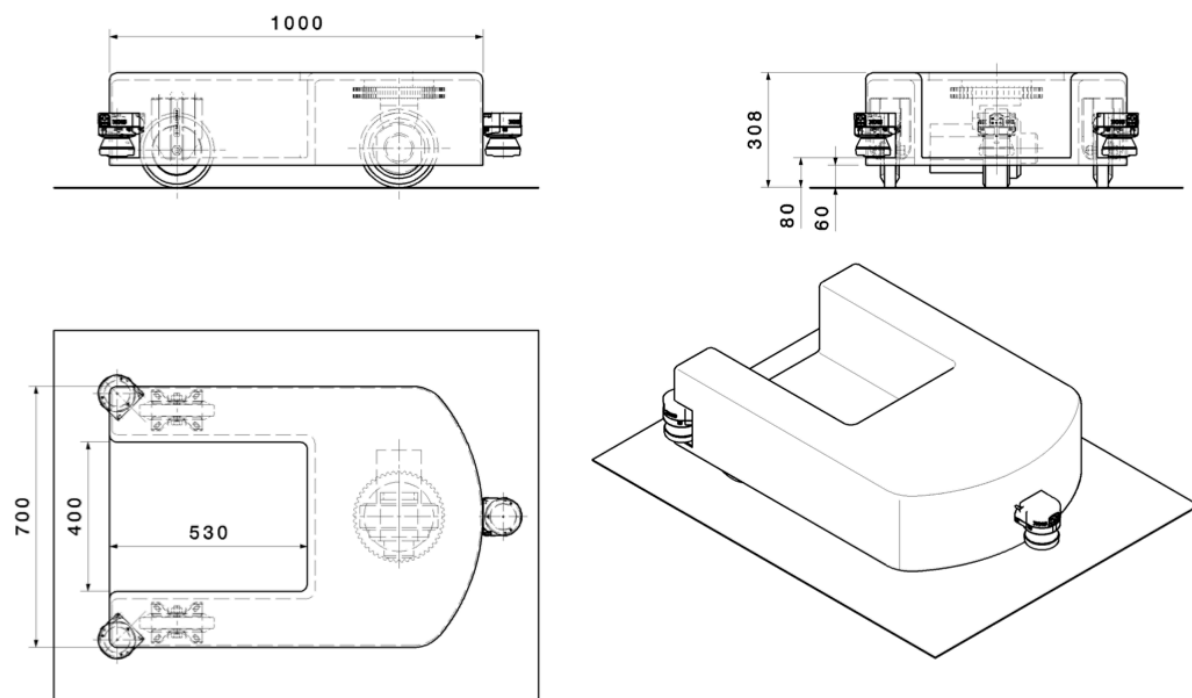


Abbildung 46: 2D-Ableitungen Dreirad-Fahrwerk

Differentialfahrwerk

Das Differentialfahrwerk ist, wie auch das Dreirad-Fahrwerk, eine beliebte und gängige Lösung für fahrerlose Transportsysteme. Durch die symmetrische Anordnung gibt es keine bevorzugte Fahrtrichtung und ein Drehen um die Mittelachse ist möglich. Es müssen keine gelenkten Radeinheiten verbaut werden, daraus folgt eine geringe Komplexität von Konstruktion und Steuerung und geringe Kosten. Im Entwurf wurde eine durchgehende Absenkung in der Mitte des Fahrzeugs vorgesehen, dadurch kann die Höhe der Ladekante etwas verringert werden. Allerdings liegt diese, bedingt durch die drehbaren Rollen, trotzdem wesentlich höher als beim Dreirad-Fahrwerk, kann dafür aber für zwei Gepäckstücke genutzt werden. Durch die 3 Achsen muss außerdem beachtet werden, dass beim Befahren von Rampen die Räder den Bodenkontakt verlieren können. (Abbildung 47-49)

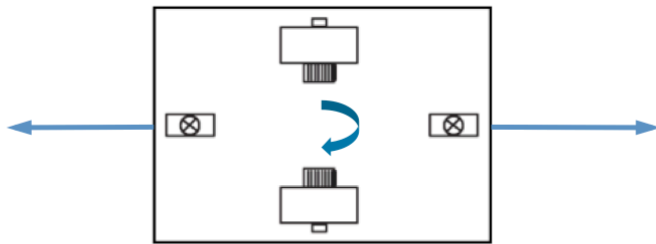


Abbildung 47: Skizze Differentialantrieb



Abbildung 48: 3D-Modell Differentialantrieb

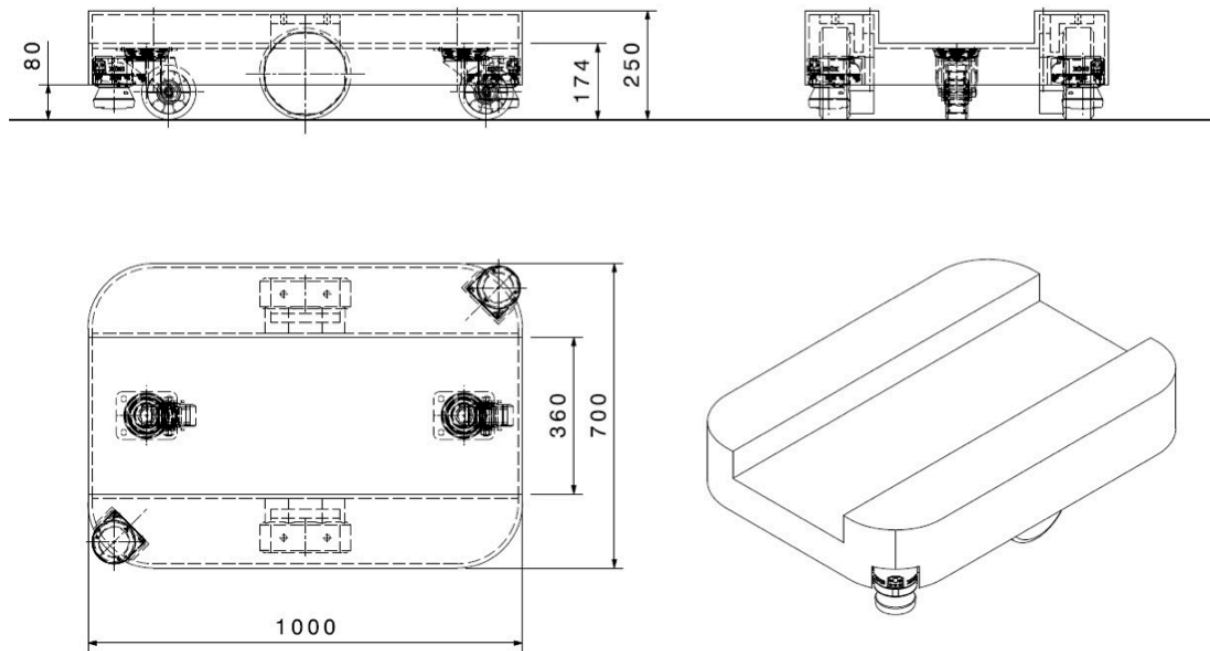


Abbildung 49: 2D-Ableitungen Differentialantrieb

Flächenbewegliches Fahrwerk

Der Vorteil des flächenbeweglichen Fahrwerks liegt in der Flexibilität, die besonders an Engstellen und in hochfrequentierten Bereichen von Vorteil sein kann. Zur Umsetzung werden zwei gelenkte und angetriebene Radeinheiten benötigt. Neben dem großen Platzbedarf dieser Komponenten ist, verglichen mit den anderen Lösungsvarianten, mit höheren Kosten zu rechnen. Außerdem resultiert aus den verbauten Komponenten eine hohe Ladekante, da keine Absenkung für das Gepäck realisierbar ist. (Abbildung 50-52)

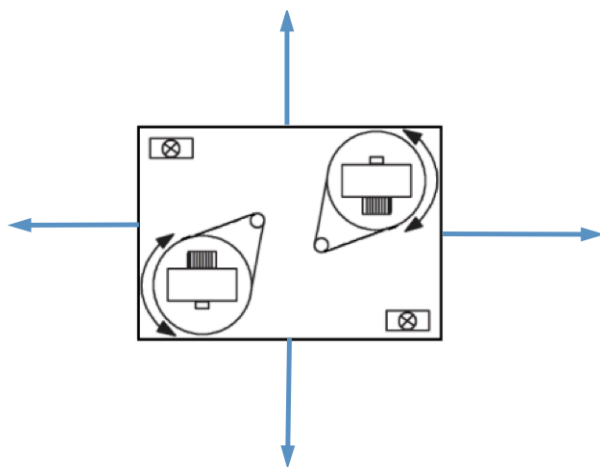


Abbildung 50: Skizze flächenbewegliches Fahrwerk

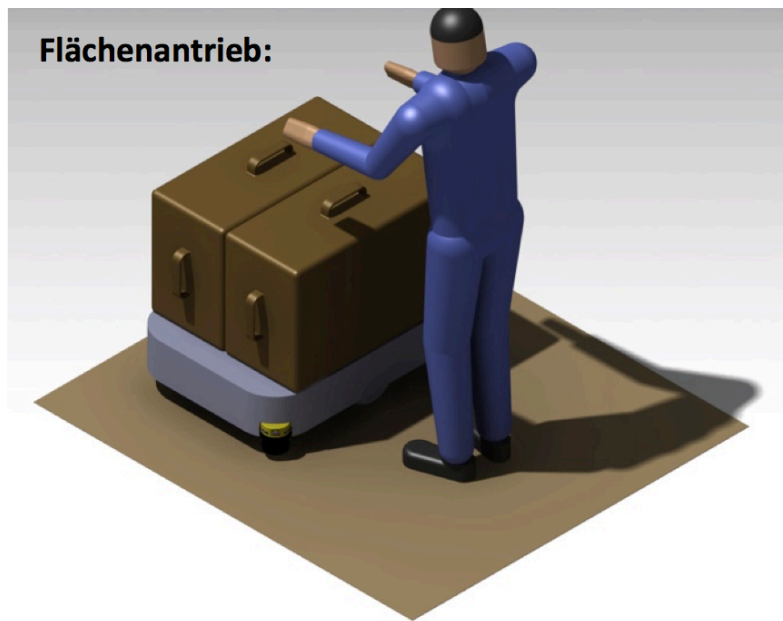


Abbildung 51: 3D-Modell flächenbewegliches Fahrwerk

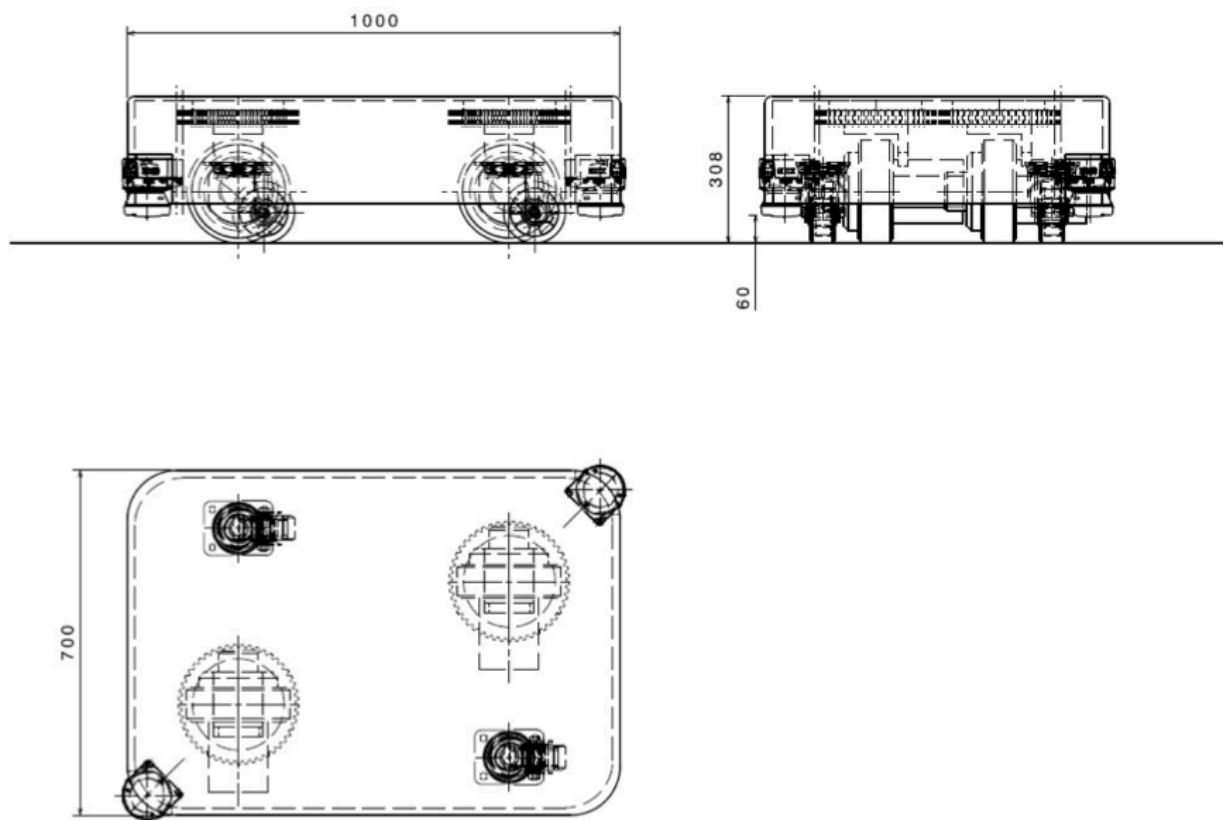


Abbildung 52: 2D-Ableitungen flächenbewegliches Fahrwerk

6.4 Aufbau

Die folgenden Entwürfe zeigen, wie der Aufbau des TransitBuddys aussehen könnte. Als Basis diente eine Plattform mit Differentialantrieb, die wiederum mit 2 Sick Laserscannern ausgestattet wurde. Alle Varianten wurden mit einem 7 Zoll Touchscreen des Unternehmens Beijer Electronics (Abbildung 53) als Bedienelement ausgestattet. Außerdem wurde ein Klappsitz der Firma Blech & Tech verbaut (Abbildung 54). Es wurden zwei Entwürfe mit einem leicht abgerundeten Rolltor und ein Entwurf mit stark abgerundeter Abdeckschürze angefertigt.



Abbildung 53: Touchscreen iX T7B
(www.beijerelectronics.com, 16.10.2014)

Daneben unterscheiden sich die 3 Varianten in der Länge. Während bei der längeren Variante (Abbildung 55) das Bedienelement hinten seitlich angebracht wurde, werden die anderen beiden (Abbildung 56, 57) von der Hinterseite aus bedient.

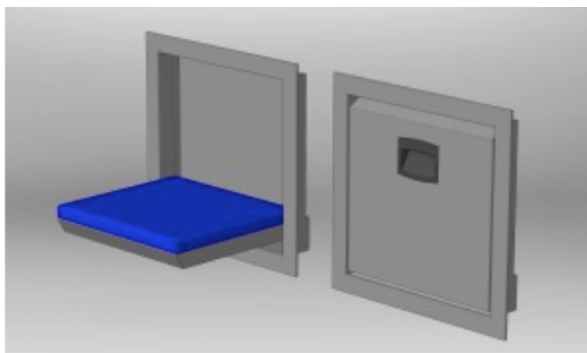


Abbildung 54: Klappsitz für den Wandverbau
(www.klappsitz.de, 16.10.2014)



Abbildung 55: Lange Rolltor-Variante mit seitlichem Bedienelement



Abbildung 56: Kurze Rolltor Variante mit Bedienelement an der Hinterseite



Abbildung 57: Kurze Rolllor Variante mit abgerundeter Abdeckschürze

6.5 Überlegungen zur Verringerung des Platzbedarfs

Im Rahmen eines Konsortialmeetings wurde das Thema einer möglichen Verringerung des Platzbedarfs, insbesondere von nicht im Einsatz befindlichen TransitBuddys angesprochen. Deshalb wurden Überlegungen angestellt, welche Strategien hier zur Anwendung kommen könnten. Es wurden folgende Grundprinzipien gefunden:

- Ineinanderschieben
- Stapeln
- Zusammenklappen
- Aufstellen
- Konvoi bilden

Ineinanderschieben

Hierfür müssten entweder großzügige Aussparungen vorgesehen werden oder, ähnlich dem Prinzip beim Einkaufswagen, ein Hochklappen des Unterbaus ermöglicht werden. Dafür ist nicht ausreichend Platz vorhanden, da die Steuerung, der Antrieb, die Batterie und andere Komponenten ohnehin bereits viel Raum in Anspruch nehmen.

Stapeln

Die TransitBuddys könnten an dafür vorgesehenen Stationen gestapelt werden. Allerdings vermindert dies die Flexibilität, da diese Stapeleinrichtungen nur begrenzt zur Verfügung stehen können. Eine zweite Möglichkeit wäre, dass sich die TransitBuddys selbst stapeln. Dazu könnten ausfahrbare Stützen angebracht werden, die es ermöglichen, dass das nachfolgende Fahrzeug unter das auf Stützen stehende, inaktive Fahrzeug fährt. Dies führt allerdings zu einem stark erhöhten Konstruktionsaufwand. Es müssen die Stützen vorgesehen werden und auch bei den restlichen Komponenten (z.B. dem Bedienpult) muss auf eine entsprechende Gestaltung geachtet werden.

Zusammenklappen

Ähnlich wie beim Ineinanderfahren der TransitBuddys stellt hier der Unterbau und die darin verbaute Technik die größte Schwierigkeit dar.

Aufstellen

Wie beim Stapeln können hier entweder Stationen dafür sorgen, dass das Fahrzeug gekippt wird oder das Fahrzeug kann sich durch eine entsprechende Kippvorrichtung selbst aufstellen. Problematisch hierbei ist im Falle von Stationen wiederum die verringerte Flexibilität und bei selbstaufstellenden Fahrzeugen der konstruktive Aufwand (beispielsweise muss ein zusätzliches Fahrwerk vorgesehen werden). Außerdem ist das Aufstellen nur dann eine sinnvolle Maßnahme zum Verringern des Platzbedarfs, wenn die Maße des Fahrzeugs entsprechend sind (zum Beispiel eine flache Bauweise)

Konvoi bilden

Die Bildung von Konvois (ohne Sicherheitsabstand zwischen den einzelnen Fahrzeugen) bildet zwar kein Platzeinsparungspotential im stehenden Zustand, aber die Fahrt zur Station kann dadurch vereinfacht werden und führt zu weniger Störungen für andere Verkehrsteilnehmer. Der Vorteil liegt in der leichten Realisierbarkeit und der Flexibilität (die TransitBuddys können sich während der Fahrt wieder entkoppeln und sofort eingesetzt werden). Dieses System lässt sich auch mit anderen Überlegungen kombinieren. Beispielsweise mit der Stapelung in Form von Paternosterlagerung.

Unter Einbeziehung der bisherigen Entwicklungsergebnisse stellten sich die meisten Möglichkeiten als nicht realisierbar heraus.

7 Designstudie

Bei einem Konsortialmeeting am 29.11.2013 wurden die in dieser Arbeit präsentierten vorläufigen Entwürfe zur Fahrwerkskonfiguration und möglichen Aufbauten sowie eine Designstudie des Projektpartners bkm design working group diskutiert. Dabei entschied das Konsortium, den Designentwurf von bkm weiterzuverfolgen und als Startpunkt für weitere Entwicklungen heranzuziehen.

7.1 Designstudie 1

Dieser erste Entwurf stellt in Anlehnung an das Prinzip eines Segways eine auf die wesentlichsten Punkte reduzierte Lösungsvariante dar. Das Fahrzeug kann in zwei unterschiedlichen Modi betrieben werden. In zusammengeklappter Form (Abbildung 58), sofern der TransitBuddy nicht beladen ist, bewegt er sich wie ein Segway fort. Soll ein Gepäckstück transportiert werden, so kann sich der TransitBuddy aufklappen (Abbildung 59) und es entsteht durch die Transformation ein Differentialfahrwerk.

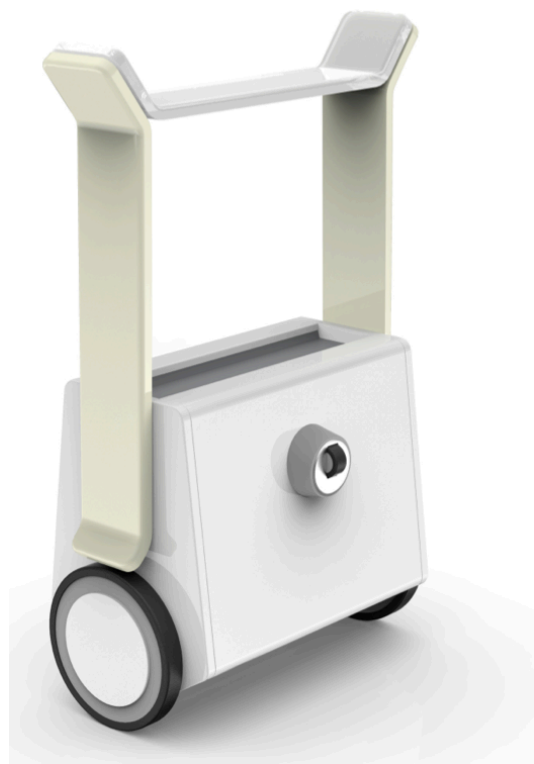


Abbildung 58: bkm Designstudie 1

Als zentrale Entwurfsprinzipien werden von der bkm design working group folgende Punkte genannt:

- TransitBuddy als autonomer Akteur im öffentlichen Raum
- Reduktion auf die wesentlichen Funktionen: 1. Autonomes Fahrzeug, 2. Gepäcktransport
- Selbsterklärende und intuitiv erfassbare Gestaltung
- Herleitung der Form sowohl über Kriterien der Interaktion, der Kommunikation mit dem Gerät, als auch über die Funktion des Gepäcktransports



Abbildung 59: bkm Designstudie 2 im aufgeklappten Zustand

Dieser Designentwurf stellt eine Ausgangsbasis dar, viele Punkte der Anforderungsliste sind in dieser ersten Studie nicht erfüllt. Daher wurden in der nächsten Phase technische Verbesserungen und konkretere Lösungen erarbeitet.

7.2 Designstudie 2

Nach einer Überarbeitung der ersten Designstudie wurde am 23.6.2014 ein weiterentwickelter Entwurf präsentiert. Das Grundprinzip der zwei unterschiedlichen Betriebsmodi wurde beibehalten. Der erste Entwurf wurde um viele technische Details erweitert bzw. konkretisiert, um die Anforderungsliste zu erfüllen. In Abbildung 60 und 61 lassen sich die Verbesserungen und Ergänzungen erkennen.

Oben, zentral am Bügel wurde ein Not-Aus Taster angebracht, außerdem wurde in den Bügel eine Betriebsstandanzeige integriert und Platz für etwaige Kamerasensoren geschaffen. Am Boden des Fahrzeugs wurde ein Kippschutz installiert, der einen Stoßsensor beinhaltet und die Möglichkeit bietet weitere Sensoren, wie beispielsweise Laserscanner, anzubringen. Als Antrieb ist ein Radnabenantrieb vorgesehen. Die Radeinheit ist vertikal verstellbar, dadurch werden unterschiedliche Bewegungszustände ermöglicht, die anschließend erläutert werden (Abbildung 62).

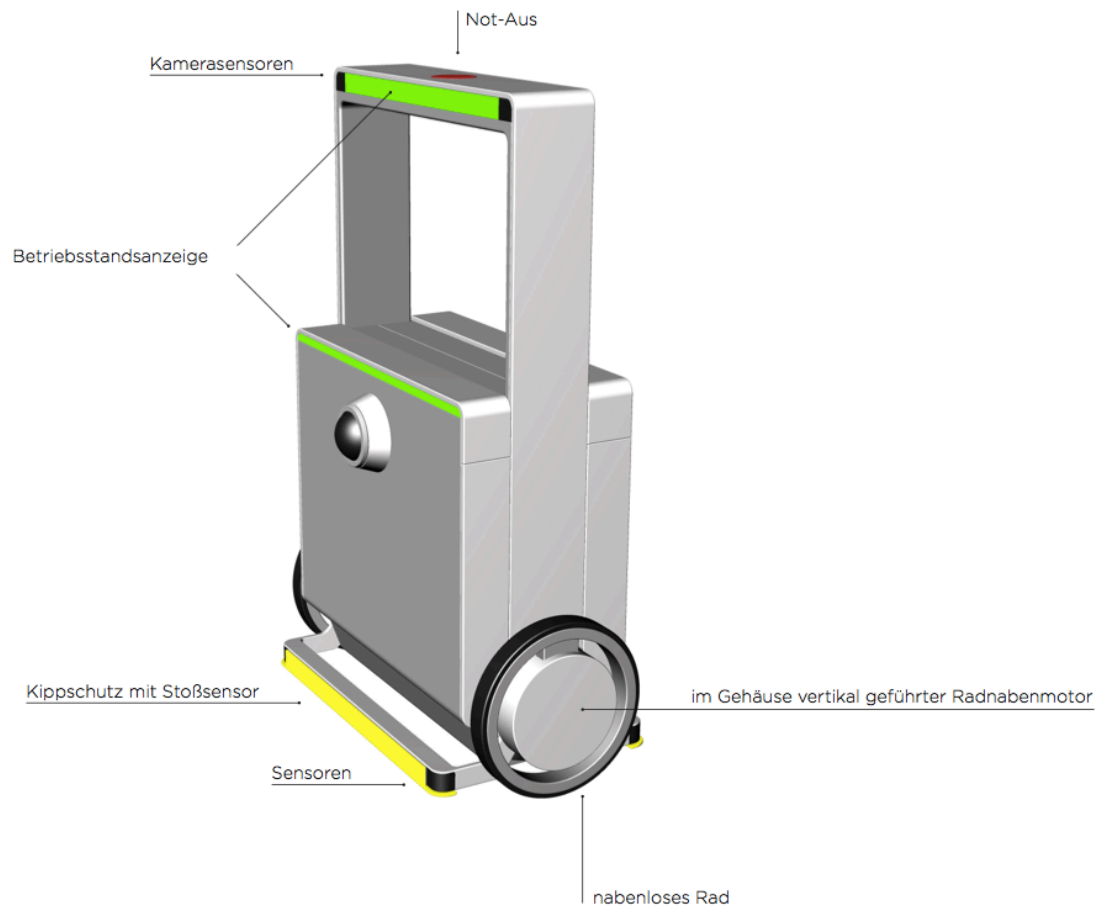


Abbildung 60: bkm Designstudie 2 im zusammengeklappten Zustand

In Abbildung 61 ist der TransitBuddy im aufgeklappten Zustand zu sehen. Im Vergleich zur ersten Designstudie sind einige Änderungen deutlich zu erkennen. So besteht der Aufbau nun nur mehr aus einem Rahmen, dies ermöglicht es auch, lange Gepäckstücke zu transportieren. Im Gegenzug sind die Klappen nun wesentlich dicker ausgeführt, um Platz für einen Drucksensor, die Batterien, Steuerung und anderes Equipment zu bieten. Außerdem wurde ein aufklappbarer Bügel vorgesehen, der als Ladungssicherung dient und von dem aus das Gepäck mittels Drahtseil vor Diebstahl gesichert werden kann.

Durch die vertikal verstellbare Radeinheit ergeben sich unterschiedliche Bewegungszustände, die in Abbildung 62 dargestellt sind. Abbildung A zeigt den TransitBuddy im Ruhezustand, dabei liegt der Kippschutz am Boden auf und gibt dem Fahrzeug Stabilität. Wird die Radeinheit etwas abgesenkt, ergibt sich der sogenannte Sicherheitsmodus. Dieser bietet zwar nur eine verminderte Bodenfreiheit, dafür ist aber weiterhin ein gewisser Kippschutz gegeben. In Abbildung C hat der TransitBuddy die maximale Bodenfreiheit erreicht, dieser Modus stellt den normalen Fortbewegungszustand dar.



Abbildung 61: bkm Designstudie 2 im aufgeklappten Zustand

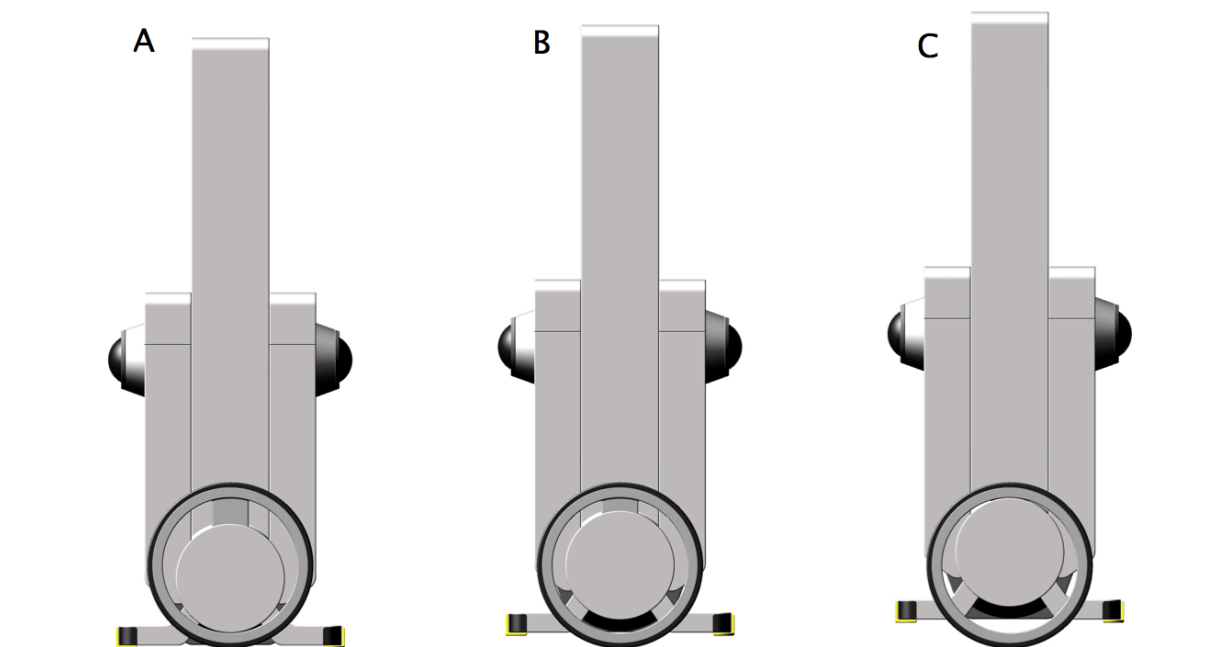


Abbildung 62: Bewegungszustände

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ausgehend von einer theoretischen Betrachtung der Produktentwicklungsprozess eines fahrerlosen Transportfahrzeugs dokumentiert. Die Entwicklung fand im Rahmen des von der Forschungsförderungsgesellschaft unterstützten und gemeinsam mit Projektpartnern durchgeführten Projekts TransitBuddy statt.

Als Leitfaden für das Vorgehen bei der Produktentwicklung diente das Standardwerk von Pahl/Beitz „Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung“. Es wurden die ersten drei von vier Produktentwicklungsphasen durchlaufen. Beim Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung lag das Hauptaugenmerk auf der Ausarbeitung einer Anforderungsliste. Diese stellt ein zentrales Dokument der Produktentwicklung dar, da sie als gemeinsame Ausgangsbasis für alle Projektpartner dient. Außerdem wurde eine QFD-Analyse durchgeführt. Dabei wurden die Kundenanforderungen mit den technischen Merkmalen des Produkts in Verbindung gebracht. Im Anschluss wurde im Rahmen des Konzipierens eine Funktionsstruktur aufgestellt und Lösungen in Form von Wirkprinzipien gesucht. Aus den gefundenen Wirkprinzipien wurden dann prinzipielle Lösungsvarianten erarbeitet und in einem nächsten Schritt zu einer Baustruktur weiterentwickelt.

Am Ende wurden nach Durchlaufen dieser Prozesse der Produktentwicklung Varianten für Fahrwerk, Gepäcksaufbewahrung und Aufbau präsentiert, die als Entscheidungsgrundlage dienen und aus denen gemeinsam ein Gesamtentwurf entwickelt werden kann.

Bei der Präsentation der bisherigen Ergebnisse im Rahmen eines Konsortialmeetings wurde der Beschluss gefasst, eine Designstudie als Grundlage weiterer Entwicklungen heranzuziehen. Um die zu Beginn gestellten Anforderungen zu erfüllen, waren umfangreiche Anpassungen der ersten Designstudie nötig. Diese überstiegen den Zeitrahmen dieser Diplomarbeit. Deshalb konnte der Produktentwicklungsprozess im Zuge dieser Arbeit nicht zum Abschluss gebracht werden.

Im letzten Kapitel werden die beiden Versionen der Designstudie kurz vorgestellt. In Designstudie 2 sind im Rahmen einer gemeinsamen Weiterentwicklung Anpassungen zur Erfüllung der Anforderungsliste umgesetzt worden. Auf Basis dieser Designstudie sollen in weiterer Folge ein Mock-Up und danach ein funktionsfähiger Prototyp konstruiert und gebaut werden.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur

Autonomes Fahren: Navia und Cybergo, Autonomes Fahren und Roboterautos, Magazin für autonome Autos und autonome Systeme, 2012, <http://www.autonomes-fahren.de/navia-autonomes-elektro-auto/> (abgerufen am 10.6.2014)

Braess, Hans-Hermann; Seiffert, Ulrich: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Springer-Vieweg, Wiesbaden, 2013

Bullis, Kevin: Persönlicher Nahverkehr, Technology Review: Das Magazin für Technik, 2009, <http://www.heise.de/tr/artikel/Persoenerlicher-Nahverkehr-276078.html> (abgerufen am 9.6.2013)

Carey, Bjorn: Shelley, Stanford's robotic racecar hits the track, Stanford News, 2012, <http://news.stanford.edu/news/2012/august/shelley-autonomous-car-081312.html> (abgerufen am 15.9.2014)

De Graaf, Menno: PRT Vehicle Architecture and Control in Masdar City, 2011, <http://www.2getthere.eu/wp-content/uploads/PRT-Vehicle-Architecture-and-Control-in-Masdar-City-M.-de-Graaf.pdf> (abgerufen am 11.6.2013)

induct: Presentation of Navia at the EPFL, induct - mobility solutions, 2012, <http://induct-technology.com/en/presentation-of-navia-at-epfl> (abgerufen am 14.9.2014)

Inria: Inria - Inventors for the Digital World, 2009, <http://www.inria.fr/en/news/news-from-inria/cycab> (abgerufen am 25.6.2014)

Lischka, Konrad: Autopilot: Google-Roboter steuern Autos durch Kalifornien, Spiegel Online, 2010, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/autopilot-google-roboter-steuern-autos-durch-kalifornien-a-722286.html> (abgerufen am 15.9.2014)

Lutz, Lennart S.; Tang, Tito; Lienkamp, Markus: Analyse der rechtlichen Situation von teleoperierten (und autonomen) Fahrzeugen, 2012, http://www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/07_Lutz.pdf (abgerufen am 19.9.2014)

NAM (Normenausschuss Maschinenbau): Sicherheit von Flurförderzeugen: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme; Deutsche Fassung EN 1525 : 1997, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 1997

NAM (Normenausschuss Maschinenbau): Erdbaumaschinen – Körpermaße von Maschinenführern und Mindestfreiraum; Deutsche Fassung EN ISO 3411:2007, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2007

NAM (Normenausschuss Maschinenbau): Sicherheit von Flurförderfahrzeugen - Sicherheitsanforderungen und Verifizierung; Deutsche Fassung EN ISO 3691-1:2012, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2012

NARK (Normenausschuss für Rettungsdienst und Krankenhaus): Elektrorollstühle und -mobile und zugehörige Ladegeräte – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 12184:2014, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2014

Österreichisches Normungsinstitut: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2013

Pahl, G. et al.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung, 6. Auflage, Springer, Berlin, 2005

Pahl, G. et al.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung, 8. Auflage, Springer, Berlin, 2013

Pradalier, Cédric et al.: The CyCab: a car-like robot navigating autonomously and safely among pedestrians, in: Robotics and Autonomous Systems, 2005, Vol. 50, p. 51–67

QFD Institute: Frequently asked questions about QFD, QFD Institute, 2012, http://www.qfdi.org/what_is_qfd/faqs_about_qfd.html (abgerufen am 19.9.2014)

Al-Sharif, Lufti R.: Experimentelle Untersuchung der Beziehung von Fahrkomfort und Kinematik beim Fahrtreppenhalt, in: Lift Report, 2007, Ausgabe 6

Széchenyi Istvan Universität: The CyCab, 2006, <http://www.sze.hu/~szenasy/Le%20CyCab.htm> (abgerufen am 25.6.2014)

Technische Universität Braunschweig: Projekt Stadtpilot @ TU Braunschweig; Technische Universität Braunschweig, 2013, <https://www.tu-braunschweig.de/iff/forschung/projekte> (abgerufen am 15.9.2014)

Ullrich, Günter: Fahrerlose Transportsysteme eine Fibel - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung, Vieweg+Teubner / Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2011

Urmson, Chris: The latest chapter for the self-driving car: mastering city street driving, Google official Blog, 2014 <http://googleblog.blogspot.co.at/2014/04/the-latest-chapter-for-self-driving-car.html> (abgerufen am 18.9.2014)

VDI-Gesellschaft: Konstruktionsmethodik - technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Beuth Verlag, Berlin, 1997

VDI-Gesellschaft: Fahrerlose Transportsysteme (FTS), Beuth Verlag, Berlin 2005

VDI-Gesellschaft: Leitfaden FTS-Sicherheit, Beuth Verlag, Berlin, 2010

9.2 Abbildungen

Abbildung 1: Masdar City Podcar (www.2gethhere.eu , 23.6.2014)	9
Abbildung 2: CyCab (www.cybermove.org , 25.6.2014)	10
Abbildung 3: Navia (induct-technology.com , 25.6.2014)	12
Abbildung 4: Komponenten eines FTF (VDI-Gesellschaft 2005, S.14).....	14
Abbildung 5: Fahrwerksvarianten (VDI-Gesellschaft 2005, S.16)	15
Abbildung 6: Warn- und Sicherheitseinrichtungen (VDI-Gesellschaft 2005, S.18).....	22
Abbildung 7: Funktionsblöcke der Fahrzeugsteuerung (VDI-Gesellschaft 2005, S.20)	23
Abbildung 8: FTS Leitsteuerung (VDI-Gesellschaft 2005, S.27)	23
Abbildung 9: Produktentwicklungsprozess (Pahl/Beitz 2005, S. 170)	26
Abbildung 10: Bewegungsfläche im Aufzug (Österreichisches Normungsinstitut 2013, S.17)	31
Abbildung 11: Taktiles Leitsystem	31
Abbildung 12: Dehnungsfugen am Bahnsteig.....	32
Abbildung 13: Eingeschränkter Bewegungsraum vor Liften.....	34
Abbildung 14: mechanisch zu öffnende und schmale Türen	34
Abbildung 15: House of Quality	40
Abbildung 16: Arbeitsschritte beim Konzipieren (Pahl/Beitz 2005, S 204).....	44
Abbildung 17: Gesamtfunktion	45
Abbildung 18: Hauptfunktionen	46
Abbildung 19: Funktionsstruktur	47
Abbildung 20: Wirkprinzipien.....	49
Abbildung 21: Differentialantrieb (VDI-Gesellschaft 2005. S.16).....	51
Abbildung 22: Dreirad-Fahrwerk (VDI-Gesellschaft 2005. S.16).....	52
Abbildung 23: Gekoppelter Lenkantrieb (VDI-Gesellschaft 2005. S.16).....	52
Abbildung 24: Differentialantrieb mit Drehachse (VDI-Gesellschaft 2005. S.16).....	52
Abbildung 25: Mehrere unabhängige Einheiten (VDI-Gesellschaft 2005. S.16)	53
Abbildung 26: Kegelradgetriebemotor ABM Greiffenberger (www.abm-antriebe.de , 12.9.2014).....	53
Abbildung 27: Radnabenmotor Schabmüller (www.schabmueller.de , 12.9.2014)	53
Abbildung 28: Konfiguration 7	56
Abbildung 29: Konfiguration 10	57
Abbildung 30: Konfiguration 2	57
Abbildung 31: Konfiguration 1	58
Abbildung 32: Einfache Klappe	59
Abbildung 33: Mehrfache Klappe.....	59
Abbildung 34: Einseitiger Verschiebemechanismus	60
Abbildung 35: Beidseitiger Verschiebemechanismus.....	60
Abbildung 36: Gliederschürze (www.directindustry.de , 3.10.2014)	61
Abbildung 37: Fahrwerksbewertung nach der Konzeptänderung.....	68

Abbildung 38: Hauptarbeitsschritte des Entwerfens (Pahl/Beitz 2005, S 278).....	74
Abbildung 39: Sick Laserscanner S300 Mini (www.directindustry.com, 16.10.2014).....	75
Abbildung 40: Ausziehbare Lade.....	76
Abbildung 41: Ausziehbare Lade, die nach unten kippt.....	76
Abbildung 42: Ausziehbare Lade auf schräger Ebene.....	76
Abbildung 43: Linearführung	77
Abbildung 44: Skizze Dreirad-Fahrwerk	79
Abbildung 45: 3D-Modell Dreirad-Fahrwerk.....	79
Abbildung 46: 2D-Ableitungen Dreirad-Fahrwerk.....	79
Abbildung 47: Skizze Differentialantrieb.....	80
Abbildung 48: 3D-Modell Differentialantrieb.....	80
Abbildung 49: 2D-Ableitungen Differentialantrieb.....	81
Abbildung 50: Skizze flächenbewegliches Fahrwerk	81
Abbildung 51: 3D-Modell flächenbewegliches Fahrwerk.....	82
Abbildung 52: 2D-Ableitungen flächenbewegliches Fahrwerk	82
Abbildung 53: Touchscreen iX T7B (www.beijerelectronics.com, 16.10.2014).....	83
Abbildung 54: Klappsitz für den Wandverbau (www.klappsitz.de, 16.10.2014)	83
Abbildung 55: Lange Rolltor-Variante mit seitlichem Bedienelement.....	84
Abbildung 56: Kurze Rolltor Variante mit Bedienelement an der Hinterseite	84
Abbildung 57: Kurze Rolltor Variante mit abgerundeter Abdeckschürze	85
Abbildung 58: bkm Designstudie 1	88
Abbildung 59: bkm Designstudie 2 im aufgeklappten Zustand	89
Abbildung 60: bkm Designstudie 2 im zusammengeklappten Zustand	90
Abbildung 61: bkm Designstudie 2 im aufgeklappten Zustand	91
Abbildung 62: Bewegungszustände.....	91

9.3 Tabellen

Tabelle 1: Datenübertragungsverfahren und deren Wirkungsbereich (VDI-Gesellschaft 2005, S.36)	24
Tabelle 2: Geometrie - Anforderungen	30
Tabelle 3: Kinematik - Anforderungen	33
Tabelle 4: Kräfte - Anforderungen	35
Tabelle 5: Energie - Anforderungen.....	35
Tabelle 6: Stoff - Anforderungen	35
Tabelle 7: Signal - Anforderungen	36
Tabelle 8: Sicherheit - Anforderungen	37
Tabelle 9: Ergonomie - Anforderungen	38
Tabelle 10: Gebrauch - Anforderungen	38
Tabelle 11: Sonstige Anforderungen	39

Tabelle 12: Wirkprinzipien.....	49
Tabelle 13: Unterteilung in Module.....	50
Tabelle 14: Fahrwerksbewertung.....	55
Tabelle 15: Auswahlliste Ladungssicherung.....	63
Tabelle 16: Überarbeitete Übersicht der Funktionen und deren Unterteilung	69
Tabelle 17: Überarbeitete Wirkprinzipien.....	71
Tabelle 18: Hauptmerkmalliste (Pahl/Beitz 2005, S. 194)	II
Tabelle 19: Anforderungsliste Stand 5.10.2013	XII

10 Anhang

10.1 Projektausschreibung

iv2splus INFONETZ

ways2go, 4. Ausschreibung (2011)

TransitBuddy

Autonomes Fahrzeug für mobilitätseingeschränkte NutzerInnen an großen ÖV Verkehrsknotenpunkten

TransitBuddy entwickelt eine Technologie für ein autonomes Fahrzeug, das in Verkehrsinfrastrukturen wie Bahnhöfen oder Flughäfen eingesetzt werden kann. Dieses Fahrzeug erleichtert allen mobilitätseingeschränkten Reisenden, wie geh-eingeschränkte Personen oder Reisenden mit schwerem Gepäck den sicheren und bequemen Transfer und wird gleichsam zum „Buddy“ für den Reisenden, indem er ihn durch z.B. einen Hauptbahnhof zu Anschlusspunkten und Geschäften führt und routet. Mit einer detaillierten Erhebung der Nutzerbedürfnisse als Grundlage und unter Berücksichtigung infrastruktureller Rahmenbedingungen werden alle technologische Aspekte wie Design, Konstruktion, Positions- und Umgebungsbestimmung, Navigation und Fortbewegung sowie Aspekte der Usability auf die Aufgabe der Transfermobilität hin erforscht und zu einem System entwickelt. Die gefundenen Lösungen werden entweder durch Simulation oder durch praktische Tests auf ihre Einsatztauglichkeit in einer Verkehrsstation der Zukunft evaluiert.

In großen, öffentlichen Verkehrsstationen steht der Fahrgast häufig vor den Fragen: Was ist mein Zug und wo fährt er ab? Wo bekomme ich mein Ticket und meine Reiselektüre? bzw. Wie komme ich zu meinem Hotel? Wo ist die U-Bahn oder der Taxistandplatz, wann fährt die nächste Straßenbahn in die gewünschte Richtung? Nicht nur ortsunkundige Personen und Personen mit eingeschränkter Mobilität, wie z.B. einer Gehbehinderung oder schwerem Gepäck, nutzen gerne spezielle Informationen für ihre Routenplanung, sondern jeder Fahrgast möchte sich gerne bequem und ohne lange Wegesuche durch z.B. den Bahnhof bewegen. Die Kombination aus mobilem Infoterminal und autonomem Fahrzeug bietet dafür einen völlig neuen und innovativen Service. Der Fahrgast stellt sein Gepäck am TransitBuddy ab und gibt einfach seinen Servicewunsch bzw. sein Fahrziel ein. Entweder der Fahrgast folgt dem TransitBuddy oder er nimmt selbst darauf Platz und wird zu seinem Zug, dem Kiosk oder zur U-Bahn geleitet. Den Fahrschein gibt es während der Fahrt am TransitBuddy. Dabei werden automatisch Umleitungen durch ausgefallene Lifanlagen oder Wartungsarbeiten an Bahnsteigen berücksichtigt. Moderne Robotertechnologie wird bereits als Guide in Museen und Ausstellungen und in (teil-) automatisierten Rollstühlen für gehbehinderte Personen in Kombination mit entsprechenden Informations- und Kommunikationsmitteln erfolgreich eingesetzt. Die Weiterentwicklung dieser Technologiesysteme bietet daher ein hohes Potential, diese Vision erfolgreich zu lösen und zu verwirklichen. Dieses Projekt untersucht alle technischen, organisatorischen und nutzerorientierten Aspekte für den Einsatz autonomer Fahrzeuge zur Unterstützung verschiedener Fahrgastgruppen an großen Verkehrsknotenpunkten des öffentlichen Verkehrs. Im Detail werden dafür

- a. die notwendigen Erfassungstechnologien zur Orientierung und Lokalisierung des Fahrzeugs und seiner lokalen Umgebung (Hindernisvermeidung),
- b. mögliche Aufbau- und Designvarianten des Fahrzeuges für die unterschiedlichen Funktionen (Information, Personentransport, Gepäcktransport),
- c. Indoor-Routingverfahren und das Bewegungsverhalten in Bereichen mit hohem Personenaufkommen,
- d. Nutzerbedürfnisse sowie Nutzersicherheit, Interaktion mit dem Nutzer, Informationsvermittlung und Nutzerakzeptanz, sowie
- e. Rahmenbedingungen für die Integration in bereits bestehenden Verkehrsstationen untersucht.

Für einen erfolgreichen Einsatz müssen daher vor der Entwicklung eines Prototypen noch einige grundlegende Forschungsfragen beantwortet werden. Als Ergebnis des Projektes liegt ein technisches Konzept vor, das den Umsetzungsgrad der Kundenbedürfnisse hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit bewertet und damit die Einsatzmöglichkeiten in Verkehrsstationen sowie den entstehenden Kundennutzen aufzeigt und somit die Attraktivität der Intermodalität erhöht. Für die Infrastrukturbetreiber von Verkehrsstationen, wie ÖBB Infrastruktur AG, Flughäfen oder Wiener Linien, wird neben diesem technischen Umsetzungskonzept ein Katalog an Rahmenbedingungen und potenziellen dazugehörigen Nutzern generiert. Die technischen Entwicklungen sollen in einem Folgeprojekt zu Prototypen und zum marktfähigen Produkt nach Vorgaben des Infrastrukturbetreibers weiterentwickelt werden.



ways2go

4. Ausschreibung (2011)

Projektleitung

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

DI Dr. Wolfgang Ponweiser

Tel.: +43-050-550-6250

E-Mail: wolfgang.ponweiser@ait.ac.at

Projektpartner

netwiss

DI Dr. Bernhard Rüger

Tel.: +43-1-96893-00

E-Mail: bernhard.rueger@netwiss.at

TU Wien - Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik

Prof. Dr. Georg Kartnig

Tel.: +43-1-58801-30748

E-Mail: g.kartnig@tuwien.ac.at

TU Wien - Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN)

Prof. Dr. Markus Vincze

Tel.: +43-(0)1-58801-37661

E-Mail: vincze@acin.tuwien.ac.at

ÖBB-Infrastruktur Aktiengesellschaft

Dipl.Ing. Thomas Pipp

Tel.: +43-1-93000-31439

E-Mail: thomas.pipp@oebb.at

bkm design working group

Mag. Hans Stefan Moritsch

Tel.: +43-664-3646842-

E-Mail: moritsch@bkm-format.com

DS Automation GmbH

DI Wolfgang Holl

Tel.: 43-732-6957-2614

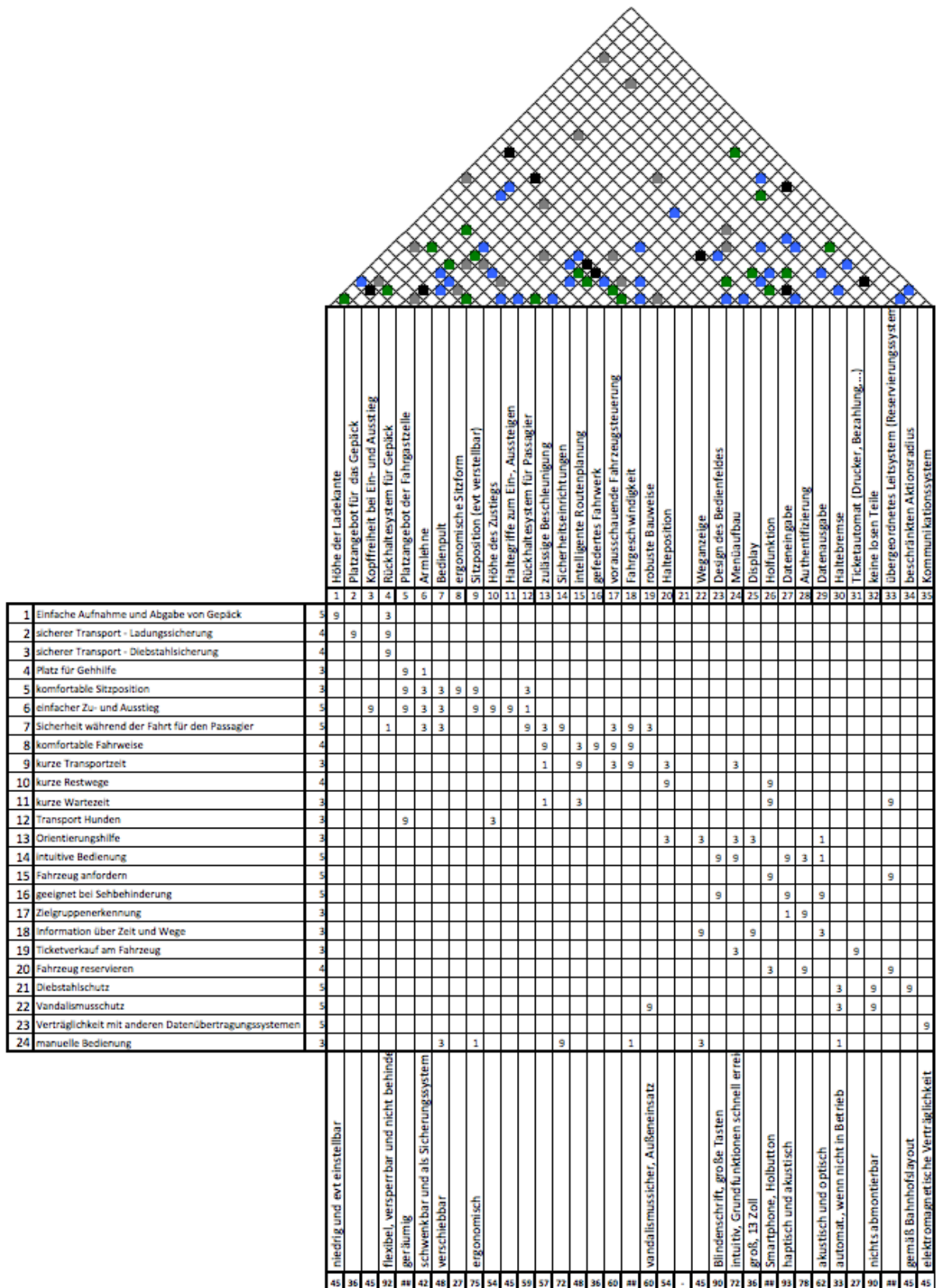
E-Mail: w.holl@ds-automotion.com

10.2 Hauptmerkmalliste nach Pahl/Beitz

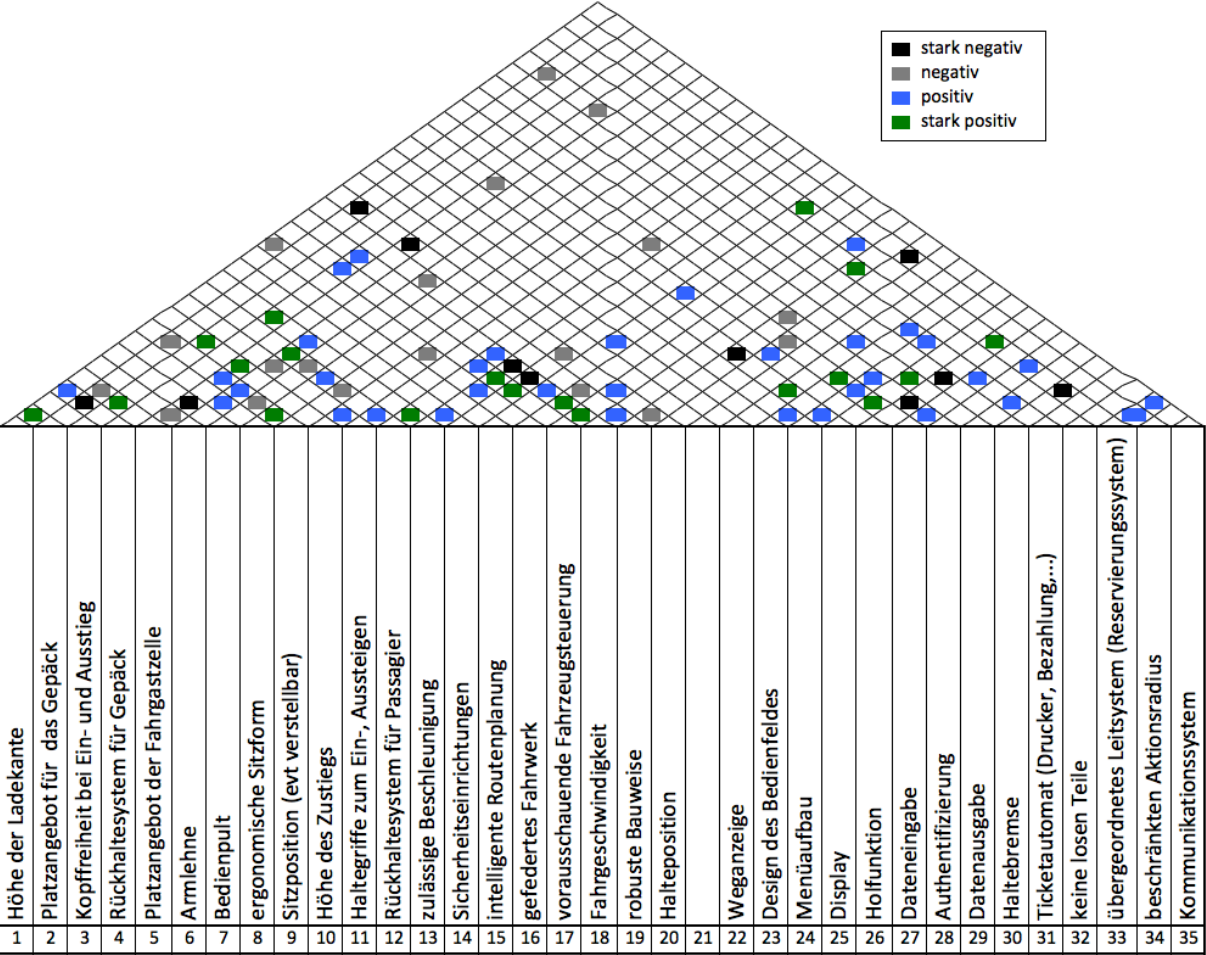
Hauptmerkmal	Beispiele
Geometrie	Größe, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung
Kinematik	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Kräfte	Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung
Stoff	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.), Materialfluss und -transport
Signal	Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung
Fertigung	Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessung, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen
Kontrolle	Mess- und Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, AD-Merkblätter)
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung
Transport	Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen
Gebrauch	Geräuscharmut, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen, ...)
Instandhaltung	Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
Recycling	Wiederverwendung, Wiederverwertung, Entsorgung, Endlagerung, Beseitigung
Kosten	Max. zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation
Termin	Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit

Tabelle 18: Hauptmerkmalliste (Pahl/Beitz 2005, S. 194)

10.3 QFD (Quality Function Deployment)



10.3.1 Produktmerkmale



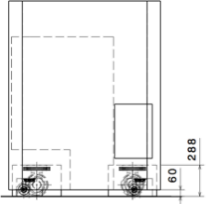
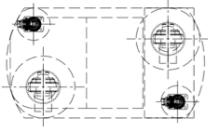
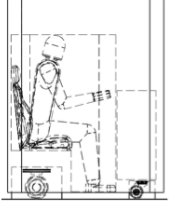
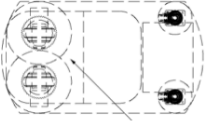
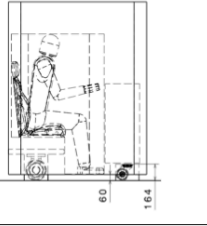
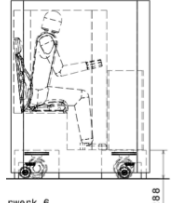
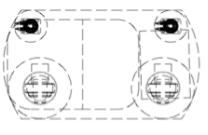
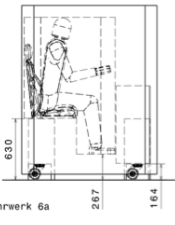
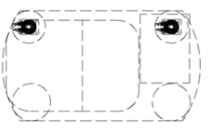
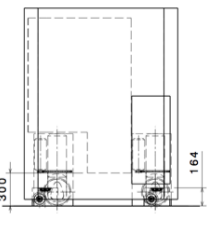
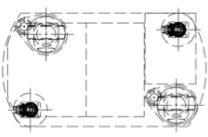
10.3.2 Kundenanforderungen

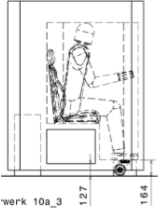
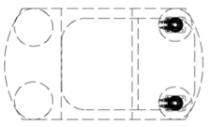
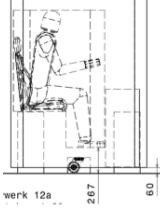
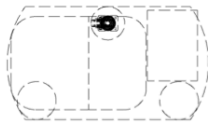
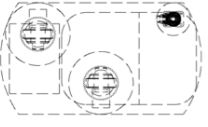
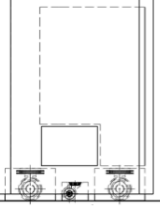
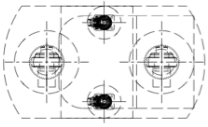
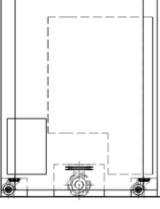
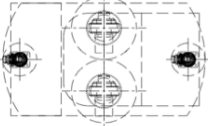
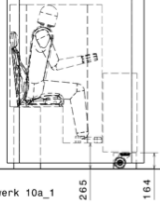
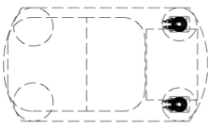
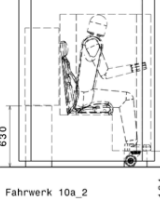
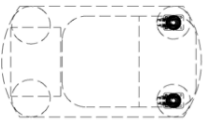
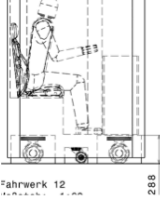
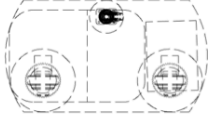
1	Einfache Aufnahme und Abgabe von Gepäck	5
2	sicherer Transport - Ladungssicherung	4
3	sicherer Transport - Diebstahlsicherung	4
4	Platz für Gehhilfe	3
5	komfortable Sitzposition	3
6	einfacher Zu- und Ausstieg	5
7	Sicherheit während der Fahrt für den Passagier	5
8	komfortable Fahrweise	4
9	kurze Transportzeit	3
10	kurze Restwege	4
11	kurze Wartezeit	3
12	Transport Hunden	3
13	Orientierungshilfe	3
14	intuitive Bedienung	5
15	Fahrzeug anfordern	5
16	geeignet bei Sehbehinderung	5
17	Zielgruppenerkennung	3
18	Information über Zeit und Wege	3
19	Ticketverkauf am Fahrzeug	3
20	Fahrzeug reservieren	4
21	Diebstahlschutz	5
22	Vandalismusschutz	5
23	Verträglichkeit mit anderen Datenübertragungssystemen	5
24	manuelle Bedienung	3

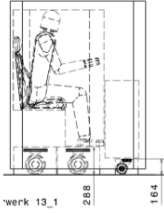
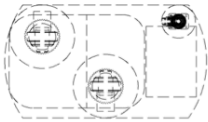
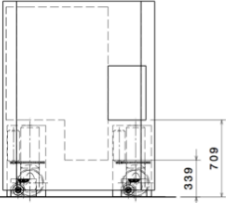
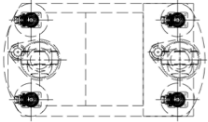
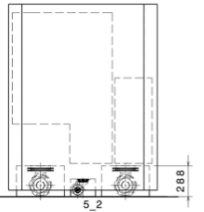
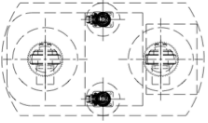
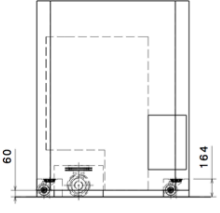
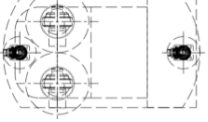
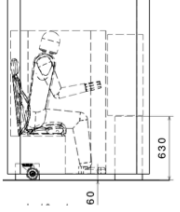
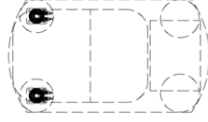
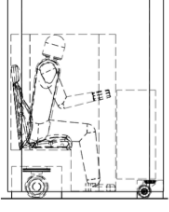
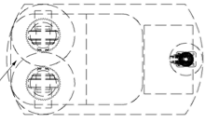
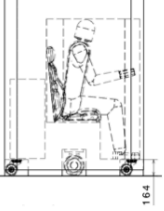
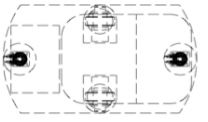
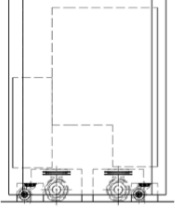
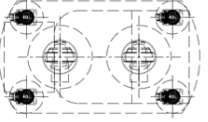
10.3.3 Bewertung

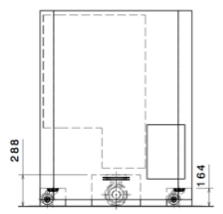
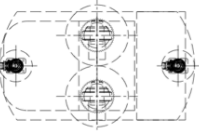
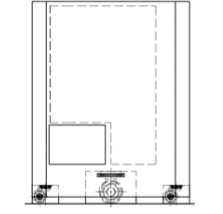
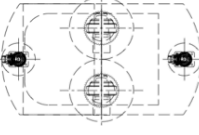
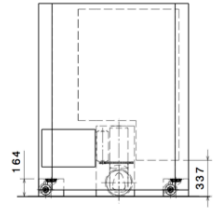
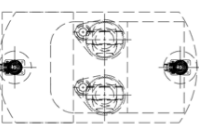
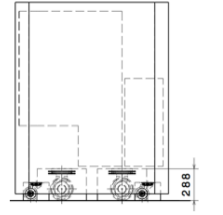
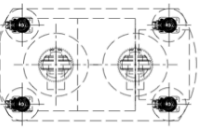
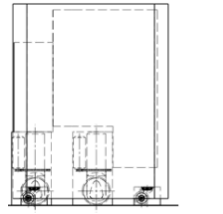
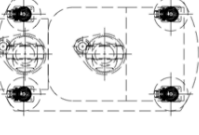
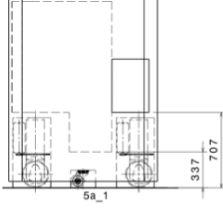
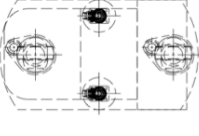
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
1	9			3																																
2		9		9																																
3				9																																
4					9	1																														
5					9	3	3	9	9			3																								
6			9		9	3	3		9	9	9	1																								
7				1		3	3					9	3	9			3	9	3																	
8												9		3	9		9	9																		
9												1		9			3	9		3				3												
10																				9						9										
11													1		3											9						9				
12					9					3																										
13																				3		3		3	3			1								
14																						9	9			9	3	1								
15																									9								9			
16																						9				9		9								
17																											1	9								
18																					9				9				3							
19																								3							9					
20																										3		9					9			
21																			9											3		9		9		
22																				9										3		9				
23																																			9	
24							3		1					9				1				3						1								
	niedrig und evt einstellbar																																			
45	36	45																																		
92																																				
126																																				
42																																				
48																																				
27																																				
75																																				
54																																				
45																																				
59																																				
57																																				
72																																				
48																																				
36																																				
60																																				
111																																				

10.4 Fahrwerksbewertung

Fahrwerksnummer	Seitenansicht	Grundriss	möglichst niedrige Ladekante	möglichst niedrige Einstiegs-kante	Stabilität	Achszahl	Gepäckhandling	Sitzkomfort	Flächenbeweglichkeit	Gesamtbewertung
7			2	4	4	4	4	2	4	3,4
10			3	4	4	4	4	2	2	3,3
2			3	4	3	4	4	2	2	3,1
6			2	2	4	4	4	2	4	3,1
6a			3	1	4	4	4	2	4	3,1
7a			3	1	4	4	4	2	4	3,1

10a_3	 werk 10a_3 127 164		4	3	4	4	2	3	2		3,1
12a	 werk 12a 267 80		4	1	2	4	4	2	4		3
13_2	 Fahrwerk 13_2 288 164		2	3	2	4	4	3	3		3
5_1	 164		2	2	3	2	3	4	4		2,9
8_4	 164 164		3	3	3	2	4	3	2		2,9
10a_1	 werk 10a_1 265 164		3	1	4	4	4	2	2		2,9
10a_2	 Fahrwerk 10a_2 630 164		0	3	4	4	4	3	2		2,9
12	 Fahrwerk 12 288		2	2	2	4	4	2	4		2,9

13_1			3	2	2	4	4	2	3		2,9
4a_1			0	1	4	4	4	2	4		2,7
5_2			2	2	3	2	4	2	4		2,7
8_1			3	4	1	3	4	2	2		2,7
10a_4			0	4	4	4	4	1	2		2,7
11			3	4	0	4	4	2	2		2,7
1			3	3	3	2	4	3	0		2,6
4_1			2	2	4	0	4	3	3		2,6

8_2			3	2	3	2	4	2	2	2,6
8_3			2	2	3	2	3	4	2	2,6
8a			3	1	3	2	4	3	2	2,6
4_2			2	2	4	0	4	2	3	2,4
4a_2			0	1	4	2	4	3	2	2,3
5a			0	1	3	2	4	2	4	2,3

10.5 Anforderungsliste

Transit-Buddy Anforderungsliste						
Kategorie	ID	Anforderung	F/W	?	Bemerkung/Herkunft	Änderung
Geometrie	1	Maximallänge < 100cm	F	?	Gepäckwagen	02.05.13
	2	Maximalbreite < 70cm	F	?	Gepäckwagen	02.05.13
	3	Maximalhöhe < 130cm	W		Gepäckwagen	17.07.13
	4	maximaler Wendekreisdurchmesser < 1,4m	F		Önorm 1600 - Aufzüge (Freifläche)	
	5	Bodenfreiheit mind. 60mm		?	DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	6	Höhe von überfahrbaren Hindernissen: 50mm		?	DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	7	Breite der Räder > 40mm	F		Önorm 1600	
	8	keine scharfen Ecken und Kanten	F		DIN EN ISO 3691	
	9	ausreichend Platz für Gepäck	F		2 große Koffer (ca. 80x35x50)	02.05.13
	10	Ablage-, Hängemöglichkeit für „Accessoires“	W		Handtasche, Schirm, Mantel, etc.	02.07.13
	11	definierter Ladebereich	F		Ladegut darf nicht überstehen	02.05.13
Kinematik	12	Vorwärts- und Rückwärtsfahren	F			
	13	Drehen um die Mittelachse	F			02.05.13
	14	möglichst wenige Brems- und Beschleunigungsvorgänge/min	W			
	15	so wenig Kurven wie möglich	W		trotzdem bevorzugt Ausw. statt Bremsen	17.07.13
	16	Richtwerte für Schwingungen nach ÖNORM-ISO 2631-1 sind zu berücksichtigen	F			02.05.13
	17	Frequenzen zwischen 4-8Hz und 20-25Hz sind zu vermeiden	F		Eigenfrequenzen von Magen und Beinen	02.05.13
	18	max. Geschwindigkeit 1m/s	F			
	19	Geschw. bergauf (6%) min. 50% von v _{max} horizontal	F			
	20	Geschw. bergab (6%) max 125% von v _{max} horizontal	F			
	21	max. Längsbeschleunigung 1m/s ² bzw. ~2m/s ²	F		Lift Report 6/2007	02.05.13
	22	max. Beschleunigungsänderung 3m/s ³	F		Lift Report 6/2007	02.05.13
	23	maximaler Bremsweg 0,6m auf Waagrechten	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle, Rutschfestigkeitsklasse R9/R10, R13 bzw. $\mu_0 \geq 0,57$	02.05.13
	24	hoher Fahrkomfort durch Federung	W		evtl. über Beschleunigungswerte definieren	02.05.13
Kräfte	25	zul. Gesamtgewicht 400kg	F		EN 81-70 (Aufzug Typ 2)	02.05.13
	26	Klappsitz bis 150kg belastbar	F			17.07.13
	27	max. Nutzlast (Gepäck) 80kg	F			17.07.13
Energie	28	Elektroantrieb	F			
	29	Auslaufsichere Batterie	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	30	automatisches Laden in Ruheposition	F		gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013	02.05.13
	31	durchgehende Einsatzdauer 2h	F			
Stoff	32	korrosionsbeständig	F			
	33	Werkstoffe an Kontaktflächen leicht reinigbar	F			
	34	Temperaturbereich -25° bis 70°	F			
	35	Werkstoffauswahl muss so erfolgen, dass unter Einwirkung äußerer Wärmequellen (z.B.: Sonnenlicht) keine zu hohen Oberflächentemperaturen entstehen	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	36	Reifen dürfen keine Spuren hinterlassen	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	37	Beständigkeit gegen Entzündung	W		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
Signal	38	Steuereinrichtungen für Notfälle und Wartung	F		DIN EN 1525 (manuelle Steuerung)	02.05.13
	39	Warneinrichtung (z.B.: Blinklicht) bei Bewegung	F		DIN EN 1525, Info folgt von Wolfgang Holl	02.07.13
	40	Geschwindigkeitswahl	F		z.B. 3 Abstufungen langsam/normal/schnell	17.07.13
	41	Anzeige der beabsichtigten Richtungsänderung	F		DIN EN 1525, Info folgt von Wolfgang Holl	02.05.13
	42	akustisches Signal		?	Info folgt von Wolfgang Holl	02.05.13
	43	manuelle Steuerung für Fahrgäste	W		gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013	02.05.13
	44	manuelles Stoppen des TB durch User	F		gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013	02.05.13
	45	Kommunikation mit Lift	F			
	46	Navigation (Führungslos)	F			
	47	intelligente Routenplanung	F			
Sicherheit	48	sicherer und zielnaher Haltepunkt	F			
	49	übergeordnetes Leitsystem	F		Fahrzeugkoordinierung, -reservierung	
	50	Verträglichkeit mit anderen Kommunikationssystemen	F		EMV	
	51	Statische Stabilität: in alle Richtungen und Be-/Entladen bei mind. 13% Gefälle	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	52	Dynamische Stabilität: Anfahren bergauf, Anhalten bergab, NOT-STOPP und Wenden bei einer Neigung von mind. 6%	F		DIN EN 12184 - Elektrorollstühle	
	53	Insaßerkennung	F			02.05.13
	54	Bremssystem wirksam bei Unterbrechung der Energiezufuhr	F		DIN EN 1525, Berücksichtigung der Holfunktion	
	55	gut zugängliche NOT-AUS-Einrichtungen	F		DIN EN 1525	
	56	Hinderniserkennung in alle Richtungen	F		DIN EN 1525	

	57	Diebstahlsicherung des Gepäcks	W	laut Feldversuch erhöhte Akzeptanz mit Diebstahlsicherung	17.07.13
	58	Ladungssicherung	F		
	59	Rückhaltesystem für Passagier	F		02.05.13
	60	Weganzeige	W		
	61	Diebstahlsicherung für Fahrzeug	F	Aktionsradius begrenzen	
	62	Sicherheitsabstand zu Personen während der Fahrt $\geq 0,5m$	W	sofern möglich, gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013, Info von Wolfgang Holl	17.07.13
Ergonomie	63	Ladekante so niedrig wie möglich	W		02.05.13
	64	Anordnung Interface für unterschiedliche Nutzergruppen optimieren		Rollstuhlfahrer, mobilitätseingeschränkte Personen,	02.07.13
	65	Bedienraum einhalten	F		02.05.13
	66	Sitzhöhe 45-50cm	F	ISO 3411	02.05.13
	67	Knie/Fußfreiheit: Höhe >70cm, Tiefe >85cm inkl. Sitz	F	ISO 3411	02.05.13
	68	einfache Bedienung	F	Menüaufbau, Design des Bedienfeldes	
	69	Bedienbarkeit für sehbehinderte Menschen, Sprachausgabe	F	genauere Infos lt. Nutzerbefragungen folgen	02.05.13
	70	Bedienposition anpassbar	W		02.05.13
	71	Armlehne vorsehen	W		02.05.13
	72	barrierefreier Einstieg	F	Bedienpult, Armlehne	02.05.13
	73	einstellbare Position von Sitz und Bedienelemente	W		02.05.13
	74	Haltegriffe vorsehen	W		02.05.13
	75	ausklappbarer Sitz (nur bei Stillstand)	W	gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013	02.05.13
	76	Sitzhöhe 45-50cm	F	ISO 3411	17.07.13
Gebrauch	77	Regenbeständig	F		
	78	Verschmutzungsresistent	F	Rollsplitt etc.	
	79	Temperaturbereich -25° bis 70°	F		
	80	Lautstärke <60dB	W		
	81	Sicherung gegen unbefugte Benutzung (z.B.: e-Card)	F		
	82	vandalismussicher	F	keine losen Teile	
	83	freie Verwendbarkeit in der vorgesehenen Fläche	F	gem. Konsortial-Meeting v. 26.04.2013	02.05.13
	84	Nutzungsmodus Vorrusfahren/Nachfahren	F		17.07.13
mit Benutzer	85	Fahrzeug anfordern	F	Smartphone zu definierten Orten, selbstständiges Verteilen, Abfangen	17.07.13
	86	Eingaben vor der Fahrt	F	?, Ziel, Ticketverkauf	17.07.13
	87	Interaktion während der Fahrt	W	?, Screen, RFID, Gesten, physischer Kontakt	02.07.13
	88	Bedienung an Zwischenhalten	W	?, Reservierung solange Identifikation durch Ka	02.07.13
	89	Beladen / Entladen	W	TB erkennt ob er Beladen ist / Entladen ist	02.07.13
	90	Interface		Konzept für Gestaltung des Interfaces (grafis	02.07.13
	91	Information des Nutzers über Richtung, Entfernung z	W	Screen, Sprachausgabe, visuelle oder akkust	02.07.13
	92	Freien TB während der Fahrt stoppen	W	Screen, RFID, Gesten, physischer Kontakt, Ge	02.07.13
	93	Lesegerät für Tickets, etc.	W	Barcode, QR-Code	02.07.13
	94	Statusanzeige für nicht Nutzer	W	reserviert, frei, Batteriestatus, Geschwindigk	02.07.13
	95	Fahrzeug frei geben	F	?, Berschtigungskarte entnehmen, RFID mit TB	02.07.13
Fertigung					
Kontrolle	96	Identifizierung des Nutzers / Nutzungsberechtigung	F	Berechtigungskarte / Smartphone und Code	02.07.13
	97	Entfernung TB / Nutzer	F	RFID und/oder alternatives Konzept	02.07.13
	98	Stoppfunktion	F	Nutzer kontrolliert vorausfahrenden TB visu	02.07.13
Montage					
Transport					
Instandhaltung	99	Wartungsfrequenz: max 2x pro Jahr	W		
Recycling					
Kosten	100	maximale Kosten / Fahrzeug	?		
	101	maximale Kosten für Installation	?		
	102	maximale Kosten für Betrieb	?		02.05.13
Termin	103	31.08.2014 für Konzept + Mock-up			

Tabelle 19: Anforderungsliste Stand 5.10.2013