



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Torben Nodop

Entwicklung einer allgemeinen Produktstruktur für elektrisch angetriebene Straßenmarkiermaschinen

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Torben Nodop

**Entwicklung einer allgemeinen Produktstruktur für
elektrisch angetriebene Straßenmarkiermaschinen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Mechatronik
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Benedikt Plaumann
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Alexander Frenkel

Abgabedatum: 20. Mai 2023

Kurzreferat

Torben Nodop

Thema der Bachelorarbeit

Entwicklung einer allgemeinen Produktstruktur für elektrisch angetriebene Straßenmarkiermaschinen

Stichworte

Produktentwicklung, Anforderungen, Produktarchitektur, Produktstruktur, Markiermaschine

Kurzreferat

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dem Thema der Produktentwicklung. Es wird eine Produktstruktur für eine elektrisch angetriebene Straßenmarkiermaschine entwickelt. Die frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses werden durchlaufen und so dokumentiert, dass sie als Grundlage für weitere Entwicklungen zurate gezogen werden können. Der Fokus der Arbeit liegt auf der Anforderungserhebung und dem Aufstellen einer Produktarchitektur.

Torben Nodop

Title of the paper

Development of a general product structure for electrically driven road marking machines

Keywords

Product development, requirements, product architecture, product structure, marking machine

Abstract

This bachelor thesis deals with the topic of product development. A product structure for an electrically driven road marking machine is developed. The early phases of the product development process are run through and documented in such a way that they can be consulted as a basis for further developments. The focus of the work is on requirements elicitation and setting up a product architecture.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
1.1 Vorstellung des Themas – Motivation	4
1.2 Stand der Technik	5
1.3 Erläuterung des Prototyps.....	6
2 Entwicklung der Produktstruktur	8
2.1 Festlegen der Aufgabenstellung - Anwendungsbereich der Markiermaschine	9
2.2 Anforderungsliste	10
2.2.1 Aufbau einer Anforderungsliste	11
2.2.2 Erstellung einer Anforderungsliste	14
2.2.2.1 Kundenanforderungen.....	16
2.2.2.2 Initiale Anforderungsliste	18
2.2.3 Methodisches Ergänzen der Anforderungsliste	20
2.2.4 Ergänzte Anforderungsliste	27
2.3 Konzepterstellung.....	29
2.3.1 Funktionsstruktur	30
2.3.1.1 Black-Box.....	31
2.3.2 Aufstellen der Funktionsstruktur	34
2.3.3 Produktarchitektur	42
2.3.4 Produktstruktur	43
2.3.5 Mögliches Konzept	45
3 Zusammenfassung und Ausblick	46
3.1 Zusammenfassung	46
3.2 Ausblick	47
Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PROTOTYP (IM AUFBAU) ZUR ELEKTRIFIZIERUNG	7
ABBILDUNG 2: SCHNITTMENGEN DER MECHATRONIK ([ERLENSPIEL ET AL. 2017] S.340)	8
ABBILDUNG 3: V-MODELL NACH VDI/VDE 2206	9
ABBILDUNG 4: ABLAUF BEIM ERSTELLEN EINER ANFORDERUNGSLISTE ([ERLENSPIEL ET AL. 2017])	13
ABBILDUNG 5: MÖGLICHE ANFORDERUNGSQUELLEN EINES PRODUKTS ([ERLENSPIEL ET AL. 2017])	15
ABBILDUNG 6: INITIALE KONZEPTSKIZZE	17
ABBILDUNG 7: INITIALE ANFORDERUNGSLISTE NACH DER ERSTEN STUFE	19
ABBILDUNG 8: HAUPTMERKMALLISTE ([FELDHUSEN ET AL. 2013] S.331).....	22
ABBILDUNG 9: ERGÄNZTE ANFORDERUNGSLISTE (GG: GESETZGEBER; EP: ENTWICKLUNGSPARTNER)	29
ABBILDUNG 10: INFORMATIONSVERARBEITUNG EINER ZENTRALEN STEUERUNG	31
ABBILDUNG 11: BLACK-BOX MODELL DER MARKIERMASCHINE.....	32
ABBILDUNG 12: BEISPIEL EINER PRODUKTARCHITEKTUR ([ERLENSPIEL ET AL. 2017] S.504)	33
ABBILDUNG 13: STOFFFLUSSSTRUKTUR DER ZUR MARKIERUNG GENUTZTEN KOMPONENTEN	37
ABBILDUNG 14: INFORMATIONSAUSTAUSCH DER ZENTRALSTEUERUNG	39
ABBILDUNG 15: PRODUKTARCHITEKTUR DER MARKIERMASCHINE	41
ABBILDUNG 16: PRINZIP EINER PLATTFORM ([KRAUSE 2018] S.150).....	43
ABBILDUNG 17: KONZEPT DER MARKIERMASCHINE.....	45

Abkürzungsverzeichnis

Akku	Akkumulator
BMS	Batteriemanagementsystem
MMI	Mensch-Maschine-Interface
PKW	Personenkraftwagen

1 Einleitung

1.1 Vorstellung des Themas – Motivation

Durch die stetige Weiterentwicklung der Technik, neuer Gesetzgebungen und neuen Kundenwünschen, gelangen Produkte an das Ende ihres Produktlebenszyklus. Ist ein Produkt an diesem Punkt angelangt, ist es für den Markt nicht mehr interessant und somit wirtschaftlich nicht mehr rentabel. Ein Nachfolgeprodukt, das seinen Platz einnimmt, sollte dem Markt zur Verfügung gestellt werden. Dieses neue Produkt kann eine komplette Neuentwicklung sein oder eine Weiterentwicklung des bisherigen Produkts. Dieser Entwicklungsschritt wird in gewisser Regelmäßigkeit durchlaufen. Um nicht bei jeder Iteration der Maschinen komplett bei null zu beginnen, ist die Motivation dieser Arbeit, zukünftige Maschinenentwicklungen in den frühen Phasen zu erleichtern. Da es sich immer um die gleiche Art von Maschinen handelt, haben diese ähnliche Anforderungen. Einige Anforderungen finden sich bei unterschiedlichen Maschinentypen wieder, jedoch in anderer Form. So ist die eine Kleinmaschine eventuell Mitgänger geführt, bei einer anderen Maschine befindet sich der Bediener an Bord der Maschine. Beide Maschinen benötigen einen Fahrtrieb, jedoch in unterschiedlicher Ausführung, um nur ein Beispiel zu nennen. Eine der Neuerungen bei der Entwicklung der Maschine ist, dass auf einen Verbrennungsmotor verzichtet werden soll, die Maschine soll rein elektrisch betrieben werden. Den Produktentwicklungsprozess einer elektrisch angetriebenen Fahrbahnmarkiermaschine bis zur Konzeption zu durchlaufen und nachvollziehbar darzustellen, ist das Ziel dieser Arbeit.

Begonnen wird mit der Ausarbeitung einer Anforderungsliste. Aus diesen Anforderungen wird anschließend eine Produktstruktur entwickelt, die genutzt werden kann, um Konzepte aufzustellen.

Mit diesen Konzepten kann die Detailentwicklung begonnen werden, diese ist jedoch nicht mehr Teil dieser Arbeit.

1.2 Stand der Technik

Markiermaschine

Die in dieser Arbeit betrachtete Markiermaschine nutzt bisher einen Verbrennungsmotor, der über Riementriebe Hydraulikpumpen und einen Druckluftkompressor betreibt. Der Öldruck wird für die Versorgung des Antriebs mit Hydraulikradmotoren und für die Ölversorgung der Pumpentechnik genutzt. Die Fahrgeschwindigkeit wird mittels eines arretierbaren Handventils eingestellt. Eine zentrale Steuerung nutzt die Maschine bisher nicht. Abhängig von der Markiertechnik nutzt die Maschine über eine Pumpensteuerung und Strichteilungselektronik.

Elektromobilität

Bei der Elektromobilität geht es sich nicht nur um Elektroautos, also Personenkraftwagen (PKW) die mit batteriebetriebenen Antrieben ausgestattet sind. Die Technik wird mittlerweile in verschiedensten Varianten genutzt. Elektrische Antriebe findet man in E-Scootern, E-Bikes, Rollstühlen, Kleinfahrzeugen wie Kommunalfahrzeuge, Rasenmähern und vielen mehr. Neben Größe, Gewicht und Aufgabe definiert auch die genutzte Technik diese Fahrzeuge. Die Technik besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: Einem oder mehreren Elektromotoren unterschiedlichster Bauformen und Leistungsklassen, einer Energiequelle, meistens in Form einer Batterie, und einer Elektronikbaugruppe, die sowohl die Steuerung des Motors als auch die Kommunikation mit anderen Fahrzeugbestandteilen übernimmt. Zusätzlich kann es Bauteile geben, die die thermische Regulierung übernehmen, um die Batterien auch bei erhöhten oder sehr niedrigen Temperaturen schadenfrei zu nutzen.

Elektromotoren, die für den Antrieb von Elektrofahrzeugen genutzt werden, gibt es mit Leistungen von wenigen hundert Watt bis zu mehreren hundert Kilowatt. Als Bauformen gibt es Radmotoren, die die Räder direkt antreiben oder Motoren, die an Getriebe angeschraubt werden und so beispielsweise Differentialachsen antreiben.

Die für den Betrieb eines Elektromotors benötigte Energie kommt zurzeit in den meisten Fällen aus wiederaufladbaren Batterien, auch Akkumulator (Akku) genannt. Im Bereich der Elektromobilität hat sich die Lithiumbatterietechnik durchgesetzt. Es gibt verschiedene Zellchemien, mit unterschiedlichsten Vor- und Nachteilen, auf die hier aber nicht näher eingegangen wird. Diese Akkus sind entweder fest in den Fahrzeugen verbaut oder werden nach der Nutzung ausgetauscht und wieder aufgeladen, wie z.B. bei akkubetriebenen Werkzeugen. Die Batterien unterscheiden sich somit in der Kapazität also der Energiemenge, die sie aufnehmen und wieder abgeben können, der Bauform und der genutzten Zellchemie. Die Batterien bestehen immer aus mehreren Zellen, die nur eine vergleichsweise geringe Leistung haben. Die Zellen haben eine

Nennspannung von 3,2 Volt bis 3,8 Volt, die Ladeschlussspannungen liegen bei bis zu 4,2 Volt. Einzelne Zellen haben eine Kapazität von 2500 mAh – 3500 mAh, prismatische Zellen bis zu 200 Ah. Schaltet man diese Zellen zueinander in Reihe und parallel erhält man Batterien mit dementsprechend höheren Spannungsniveaus und Kapazitäten. Um so entstandene Batterien zu nutzen und sie vor Schäden zu schützen, werden sie von einem Batteriemanagementsystem (BMS) überwacht. Ein solches BMS überwacht den Betrieb der Batterie. Da sich die Zellen trotz modernster Fertigungstechnik und Qualitätskontrolle voneinander unterscheiden, verhalten sie sich im Betrieb unterschiedlich. Der Ladevorgang wird vom BMS überwacht und gesteuert. Driften die Spannungsniveaus der Zellen während der Nutzung zu weit auseinander wird dies während der Ladevorgänge wieder ausgeglichen, um die bestmögliche Effizienz der Batterie zu gewährleisten.

1.3 Erläuterung des Prototyps

Um erste Erfahrungen auf dem Gebiet der Elektrifizierung zu sammeln und um den Entwicklungsaufwand besser einschätzen zu können, wurde ein Prototyp gebaut (siehe Abbildung 1). Dieser dient u.a. als Machbarkeitsstudie und hat für die folgende Entwicklung wichtige Erkenntnisse gebracht, auf die in Laufe dieser Arbeit, teilweise, eingegangen wird. Für den Prototypen wurde, um erste Erfahrungen mit elektrischen Antrieben zu sammeln, beschlossen den hydraulischen Fahrtrieb einer Maschine durch einen elektrischen Antrieb zu ersetzen. Zusätzlich wurden Antrieb und Aggregat voneinander getrennt, diese sind bisher in einer Baugruppe zusammengefasst. Der Fahrtrieb ist eine Baugruppe und das Aggregat zum Auftragen der Markierung bildet eine weitere Baugruppe. Beide Antriebe werden aus einer Energiequelle bzw. Batterie versorgt. Die Maschine wurde mit einer zentralen Steuerung ausgestattet, um den Betrieb zu steuern und zu überwachen.

Der Fahrtrieb besteht aus einer Differentialgetriebeachse mit angeschraubtem Dreiphasen-Elektromotor, der von einem Inverter gesteuert wird. Der Inverter hat die Funktion aus einer Gleichspannungsquelle eine Dreiphasen-Wechselspannung zu generieren. Der Inverter stellt nicht nur die benötigte Spannung für den Betrieb des Motors bereit, sondern steuert auch das Verhalten des Motors und kommuniziert, via CAN-Bus, mit der Fahrzeugsteuerung. Die Funktion eines „Gaspedals“ übernimmt ein Daumenrad, das über ein Schleifpotentiometer die Fahrgeschwindigkeit einstellt und mittels eingebauter Mikroschalter die Fahrtrichtung vorgibt. Das Verhalten des Motors beim Anfahren, Bremsen, Richtungswechsel, in Notsituationen usw. kann auf dem Inverter als Parameter festgelegt werden.

Der Aufbau des Antriebs für das Farbaggreat unterscheidet sich von dem des Fahrtriebs. Dieser nutzt kein Getriebe, sondern überträgt die benötigten Drehzahlen

und Drehmomente für einen Kolbenkompressor und eine Hydraulikpumpe mittels Riementriebes.

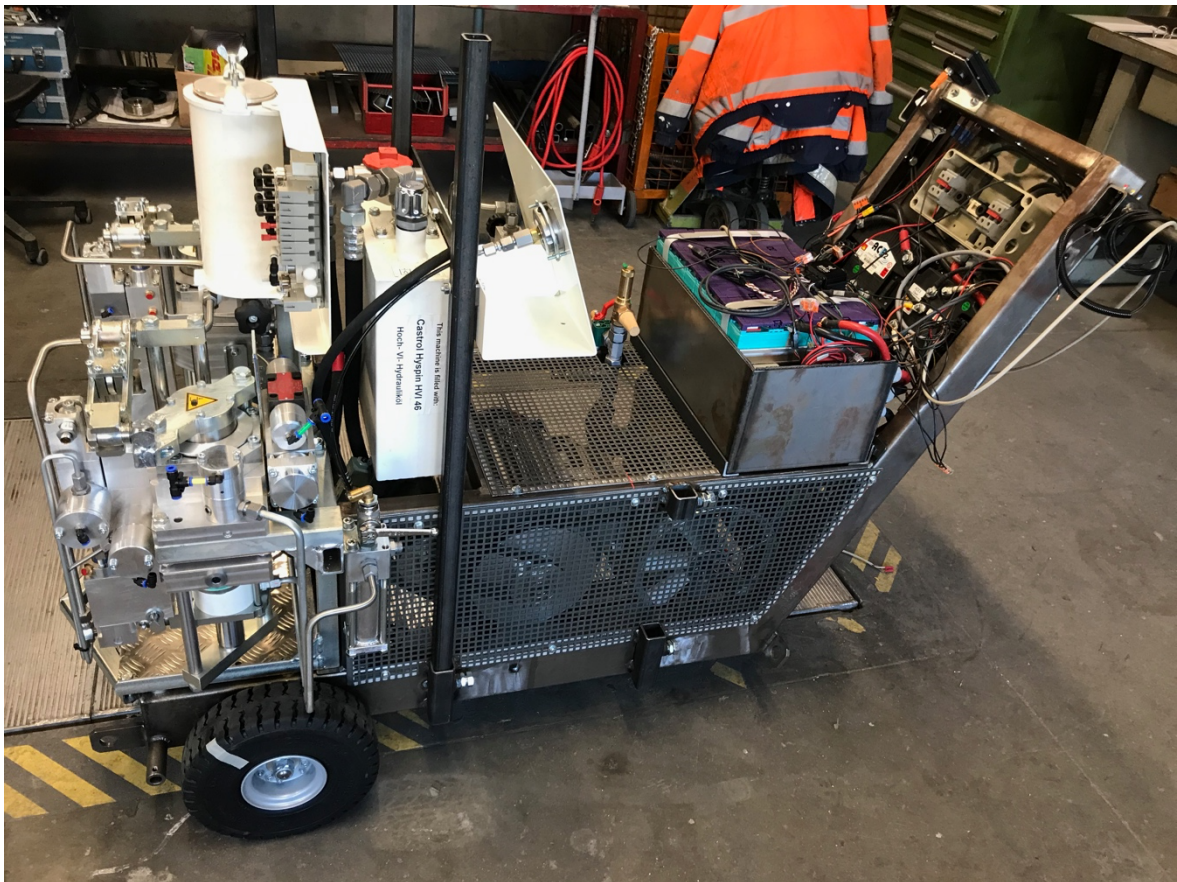


Abbildung 1: Prototyp (im Aufbau) zur Elektrifizierung

2 Entwicklung der Produktstruktur

Die Produktstruktur ist eine physische Beschreibung des Produkts. Diese physische Beschreibung stellt die Zusammensetzung der Komponenten des Produktes zu größeren Baugruppen dar, die ihrerseits zu einem Gesamtprodukt kombiniert werden. „Somit beschreibt die Produktstruktur eine mögliche Lösung zur physischen Realisierung der geforderten Produktfunktionen unter Anwendung ausgewählter Leistungsprinzipien“ ([Feldhusen et al. 2013] S.255).

Das Aufstellen der Produktstruktur ist ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung eines Produkts. Sie bildet zusammen mit der Funktionsstruktur die Produktarchitektur. Sie legt die Gestalt des fertigen Produkts fest und die dafür erforderlichen Arbeitsschritte machen einen großen Teil der Entwicklungsarbeit aus. An der Ausarbeitung dieser Struktur sind naturgemäß mehrere Abteilungen einer Firma beteiligt. Durch die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte haben sich Produkte und ihre Entwicklung verändert. So sind auch Fahrbahnmarkiermaschinen nicht mehr nur rein Mechanische Produkte, deren elektrische Anlage aus wenig mehr als der Lichtanlage, einer Batterie und dem Anlasser bestand, sie sind zu mechatronischen Produkten (siehe Abbildung 2) geworden. Sie erfordern Entwicklungsarbeit in Maschinenbau, Elektrik und Softwareentwicklung. Produkte dieser interdisziplinären Art erfordern besondere Sorgfalt bei der Planung und Entwicklung der Produktstruktur. Die VDI/VDE 2206 „Entwicklung mechatronischer Systeme und cyber-physischer Systeme“ ist eine Richtlinie, die den Entwicklungsprozess solcher Systeme detailliert beschreibt. Sie definiert Mechatronik wie folgt: „Mechatronik bezeichnet das synergetische Zusammenwirken der Fachdisziplinen (Domänen) Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik beim Entwurf und der Herstellung industrieller Erzeugnisse sowie bei der Prozessgestaltung.“ (vgl. [VDI 2021])

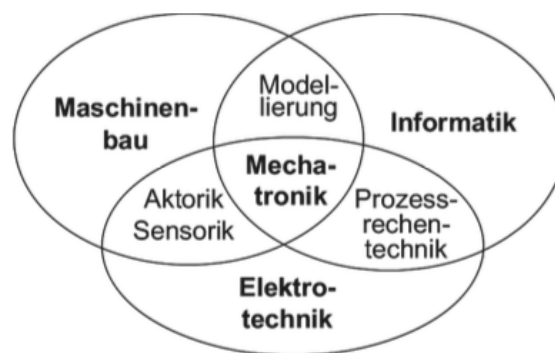


Abbildung 2: Schnittmengen der Mechatronik ([Erlenspiel et al. 2017] S.340)

Abbildung 3 zeigt das V-Modell, das den gesamten Entwicklungsprozess kompakt darstellt. Die im Modell gezeigten Phasen werden auf dem Weg zum marktreifen Produkt teilweise mehrfach durchlaufen. Die Produktstruktur ist dabei Teil der Produktarchitektur, diese wird nach der Anforderungserhebung erarbeitet. Auf diesen beiden Phasen liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit.

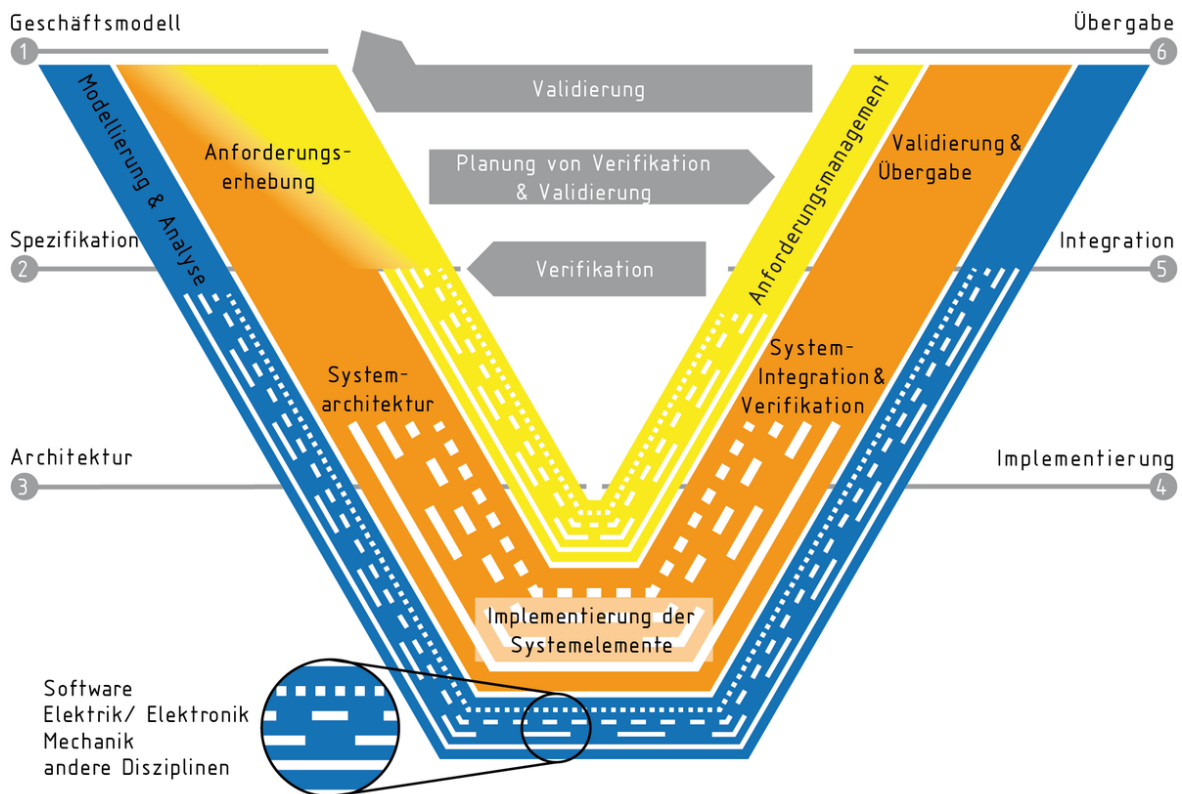


Abbildung 3: V-Modell nach VDI/VDE 2206

2.1 Festlegen der Aufgabenstellung - Anwendungsbereich der Markiermaschine

Ein klar festgelegter Anwendungsbereich der Maschinen ist für die später folgenden Arbeitsschritte unerlässlich. Ist der Anwendungsbereich nicht klar definiert entspricht das Endprodukt mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht den Kunden- oder Markanforderungen oder in die Entwicklung wird zu viel investiert und das Produkt läuft Gefahr überentwickelt zu werden, was unnötige Kosten verursacht und Ressourcen bindet.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf einer kleinen Fahrbahnmarkiermaschine. „Klein“ bedeutet, im Kontext dieser Arbeit, dass es sich um eine mitgängergeführte Markiermaschine handelt. Ein Sitz für den Bediener ist also nicht vorgesehen. Markiermaschinen dieser Kategorie sind nicht primär für Markierarbeiten langer Strecken gedacht. Sie sind für Arbeiten ausgelegt, die eine hohe Flexibilität und

Wendigkeit der Maschine erfordern. Der Anwendungsbereich sind Arbeiten auf Parkplätzen, Kreuzungen oder beispielsweise in Fußgängerzonen.

Durch die Nutzung von Elektromotoren werden Arbeiten in Innenräumen möglich ohne sich um ausreichende Belüftung sorgen zu müssen. Die verringerte Lautstärke der Maschinen ist ein weiterer Vorteil. Diese Arbeiten dauern nicht zwingend einen ganzen Arbeitstag, darum ist eine schnelle Einsatzbereitschaft und ein einfacher Transport der Maschinen wichtig.

Die Aufgabe besteht also darin, die Produktstruktur für eine Mitgänger geführte Fahrbahnmarkiermaschine zu entwickeln die:

- Elektrisch angetrieben wird
- Batterien bzw. Akkus als Energiequellen nutzt
- Zweikomponenten-Kaltspritzplastikmarkierungen applizieren kann
- Modular aufgebaut ist, um unterschiedliche Markiertechnik montieren zu können

2.2 Anforderungsliste

Vor Beginn der eigentlichen Entwicklungsarbeit werden in Abstimmung mit allen Beteiligten die Anforderungen an das Produkt grob festgelegt und im weiteren Verlauf des Projekts weiter ausgearbeitet. In der Anforderungsliste werden, in Abstimmung mit den Stakeholdern, die für die Entwicklung des Produkts wichtigen Anforderungen und Wünsche festgehalten. Auf Basis der Anforderungsliste kann das Pflichtenheft für die Entwicklungsabteilung erstellt werden. Auf diese kann sich im Zweifelsfall berufen werden, da die Liste sowohl mit dem Kunden als auch mit Vertretern der entwickelnden Firmen in Kooperation ausgearbeitet werden. Der Umfang der Anforderungsliste wird wesentlich durch den Grad der Innovation der Entwicklung bestimmt. Handelt es sich um eine Weiterentwicklung eines bestehenden Produkts kann auf wesentlich mehr Anforderungsquellen zurückgegriffen werden und die Liste beinhaltet dementsprechend viel Punkte. Bei einer Neuentwicklung ist es dagegen ratsam sich nicht von Anfang an mit zu vielen Anforderungen einzuschränken. Anforderungslisten haben bestimmte Inhalte und sollten nach einem bestimmten Vorgehen erstellt werden (vgl. [Feldhusen et al. 2013] S.321).

Da Firmen oder Abteilungen in den meisten Fällen Produkte der gleichen Art entwickeln, gleichen sich einige Dinge in allen Entwicklungen. Daher ist es bei der integrierten Produktentwicklung sinnvoll unternehmensspezifische oder abteilungsspezifische Checklisten zu erarbeiten, anstatt bei jedem Projekt von vorne anzufangen. Dieses Vorgehen spart Zeit und Kapazitäten und somit Geld bei der Entwicklung.

2.2.1 Aufbau einer Anforderungsliste

Eine Anforderungsliste besteht aus den folgenden vier Kernbereichen ([Feldhusen et al. 2013]): Organisation, Identifikation, Inhalt und Rückverfolgung. Die einzelnen Bereiche werden im Folgenden erläutert und bearbeitet:

Organisation

Eine Anforderungsliste beinhaltet im Organisationsbereich allgemeine Informationen, wie das Erstellungsdatum und Seitenzahlen. Außerdem wird festgehalten, wer im Unternehmen die Anforderungsliste ausarbeitet und wie das Projekt oder Produkt heißt.

Identifikation

Um die Anforderungen während der Bearbeitung schnell und einfach zu identifizieren, werden diese durchnummeriert. Zusätzlich können Versionsnummern vergeben werden um, wenn nötig, zu einem älteren Stand zurückzugehen oder um frühere Entscheidungen nachvollziehen zu können.

Inhalt

Der Inhalt der Anforderungsliste beschreibt die einzelnen Anforderungen an das Produkt. Anforderungen sind Soll-Eigenschaften (vgl. [Erlenspiel et al. 2017] S.478), die das zu entwickelnde Produkt später aufweisen soll. Anforderungen werden von verschiedenen Quellen gestellt. Diese sind in verschiedene Kategorien, Forderungen und Wünsche, einzuteilen und sind ggf. unterschiedlich zu gewichten.

Um die Anforderungsliste so vollständig wie möglich auszuarbeiten, müssen im Vorherein die Anforderungsquellen, auch Stakeholder genannt, festgelegt werden. Anforderungsquellen werden in drei Kategorien unterteilt ([Pohl 2008]):

- Personen
- Produkte
- Dokumente

Die wichtigste Anforderungsquelle ist in der Kategorie der Personen zu finden. Der Kunde oder der Markt und die von ihm gestellten Anforderungen sollten, in den meisten Fällen, besonders berücksichtigt werden. Weitere Personen können Zulieferer, Marketingpersonal, Vertriebsmitarbeiter, Monteure, Servicepersonal und Entwickler sein.

Eine weitere Kategorie sind Produkte, hierbei kann es sich um ältere Eigenentwicklungen oder Konkurrenzprodukte handeln. Diese Betrachtung und Diskussion dieser Produkte kann dazu führen, dass zusätzliche Anforderungen aufgestellt werden.

Die Kategorie der Dokumente beinhaltet Normen, Gesetze, Richtlinien, Fehlerbeschreibungen und Mängellisten von Vorgängerprodukten oder ähnlichen Entwicklungen. Werden Anforderungen aus Dokumenten erstellt, müssen die Quellen für die spätere Rückverfolgung dokumentiert werden.

Rückverfolgung

Am Anfang einer Entwicklung werden viele Anforderungen festgehalten. Ob alle Anforderungen miteinander vereinbar sind, stellt sich erst im Laufe der Bearbeitung heraus. Es besteht auch die Möglichkeit, dass Anforderungen hinzukommen oder wegfallen. Anforderungen können in Konflikt miteinander stehen. Um diese Konflikte zu lösen, werden je nach Gewichtung der Anforderungen und in Absprache mit den Anforderungsquellen, Änderungen vorgenommen. Die Anforderungsliste kann sich über die komplette Entwicklungszeit ändern. Damit diese Änderungen nachvollziehbar sind, wird für jede Anforderung die entsprechende Quelle festgehalten und vorgenommene Änderungen werden vermerkt.

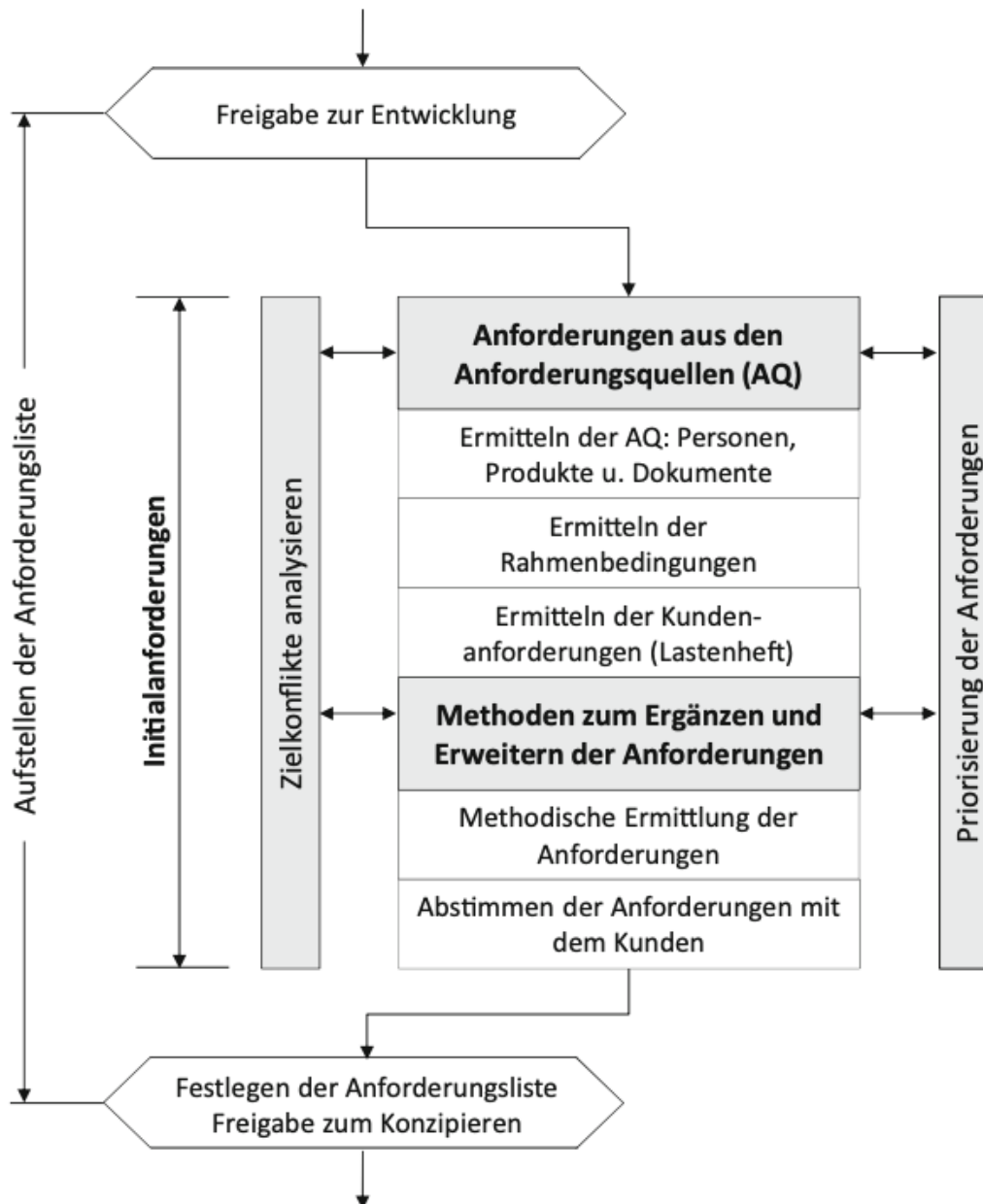


Abbildung 4: Ablauf beim Erstellen einer Anforderungsliste [Feldhusen et al. 2013] S. 326)

2.2.2 Erstellung einer Anforderungsliste

Anforderungslisten sollten für die Lesbarkeit und um sich schnell zurecht zu finden einem formalen Aufbau folgen. Dieser kann individuell ausgearbeitet und beispielsweise in einer Werksnorm festgelegt werden. Um die Qualität der Liste sicher zu stellen, müssen einige Kriterien erfüllt werden. Um diese Kriterien zu erfüllen, bietet sich ein tabellarischer Aufbau an. Die folgenden Kriterien sollten beachtet werden:

- **Lesbarkeit:** Die Anforderungen müssen strukturiert, eindeutig und verständlich aufgelistet und formuliert werden.
- **Vollständigkeit:** Wenn mit der Entwicklung begonnen werden kann, ist eine Anforderungsliste als vollständig zu betrachten. Bei diesem Kriterium ist die Erfahrung der beteiligten Entwickler und methodisches Arbeiten von besonderer Bedeutung, um eine möglichst vollständige Liste aufzustellen.
- **Konsistenz:** Die aufgestellten Anforderungen dürfen nicht miteinander im Widerspruch stehen, um Konflikte schon zu Beginn zu vermeiden.
- **Änderungsfreundlichkeit:** Beim Aufbau des Layouts der Anforderungsliste sollte Platz für Änderungen vorgesehen werden. Da Anforderungslisten heute digital verwaltet werden ist dies einfach einzuhalten.

Um eine möglichst vollständige Anforderungsliste zu erarbeiten, sollten, wie in Abbildung 4 dargestellt, mehrere Arbeitsschritte durchlaufen werden. Ein zweistufiges Vorgehen ist hierbei sinnvoll. In der ersten Stufe wird die Anforderungsliste grundlegend erarbeitet und in der zweiten Stufe wird die Liste methodisch ergänzt.

Nachdem der Entschluss zur Entwicklung eines neuen Produkts gefällt wurde, wird damit begonnen die Initialanforderungen und Rahmenbedingungen für das neue Produkt zusammen zu tragen. Es kann passieren, dass am Anfang der Entwicklung nicht alle Anforderungen bis ins letzte Detail absehbar sind. Einige Anforderungen werden erst im Laufe der Projektbearbeitung erkennbar, in diesen Fällen kann die Anforderungsliste angepasst werden. Mit der Entwicklung kann trotzdem begonnen werden. Nachdem die Initialanforderungen und Rahmenbedingungen festgelegt wurden, ist der nächste Schritt das Ermitteln der Anforderungsquellen. Anforderungsquellen können, wie Abbildung 5 zeigt, neben Personen auch Dokumente und Produkte sein. Diese gilt es zu recherchieren und die in ihnen enthaltenen Informationen zu nutzen um die Anforderungsliste mit Detailanforderungen zu erweitern und zu komplettieren.

Im Falle von Fahrbahnmarkiermaschinen sind die Anforderungsquellen erfahrungsgemäß wie folgt:

- Kunde bzw. der Markt
 - Bei Weiterentwicklungen das Feedback der Nutzer
- Entwickler und Konstrukteure mit Erfahrung
- Marketing- und Verkaufsmitarbeiter
- Fertigungs- und Montagemitarbeiter
- Gesetzte, Normen und Verordnungen
- Konkurrenzprodukte
- Zulieferer

Diese Quellen gelten allgemein für Markiermaschinen. Den Anstoß für die Entwicklung einer batteriebetriebenen Markiermaschine hat ein Ingenieur der Technischen Entwicklung gegeben. Daraufhin wurde die Idee den Entwicklungspartnern vorgestellt. Die Resonanz war sehr positiv und führte zur Entwicklung der Maschine.

Einen besonderen Stellenwert hat in diesem Fall der Kunde. Die Einführung und Nutzung neuer Komponenten und Technik muss dem Endkunden so einfach wie möglich gemacht werden. In diesem Fall der elektrische Antrieb und die damit verbundene Batterietechnik. Diese Umstellung bedarf guter Kommunikation mit dem Kunden. Eine Rückmeldung in Form von Reports oder direkter Kommunikation ermöglicht weitere Anpassungen der Anforderungen und somit eine Verbesserung des Endprodukts.

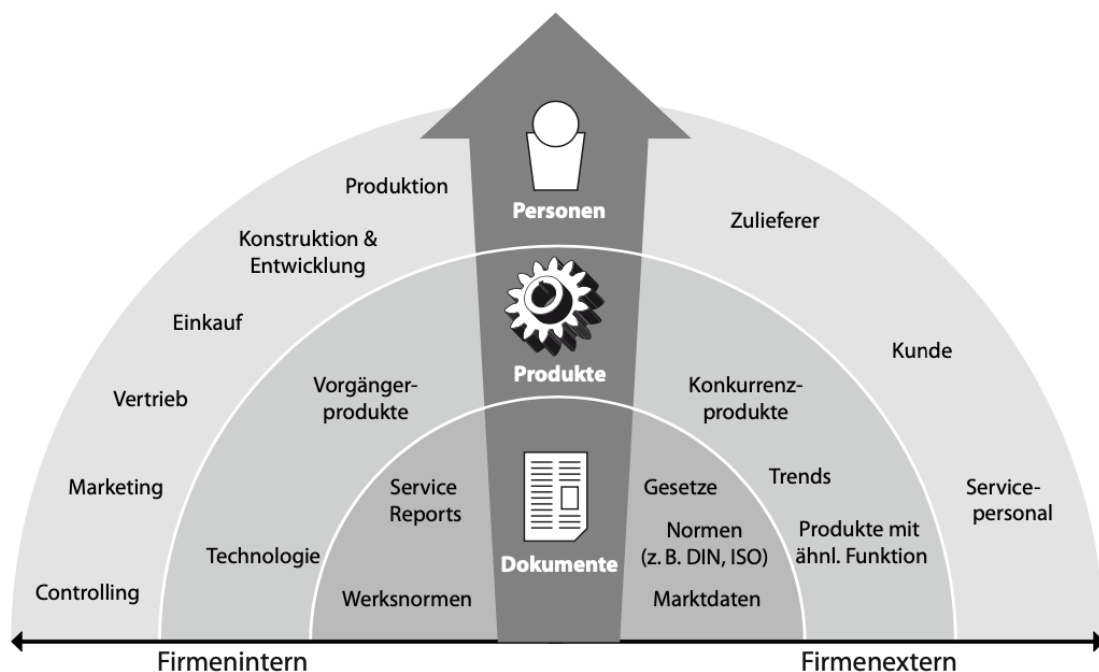


Abbildung 5: Mögliche Anforderungsquellen eines Produkts [Feldhusen et al. 2013] S.328)

2.2.2.1 Kundenanforderungen

Der nächste Schritt beim Aufstellen einer Anforderungsliste ist das Ermitteln der Kundenanforderungen. Dies sind die Anforderungen, die der Kunde als Wunsch oder Forderung an das Produkt hat. Nicht vom Kunden explizit geäußerte Forderungen, da sie als selbstverständlich erachtet werden, können von zentraler Bedeutung sein und sollten erkannt werden. Dabei ist zu unterscheiden, welche Art von Kunde die Anforderungen stellt. Handelt es sich um einen spezifischen Kunden, sind die Anforderungen sehr konkret und eine direkte Kommunikation zur Abstimmung ist problemlos möglich.

Bei einem anonymen Kunden ist die Ermittlung der Anforderungen aufwändiger. Hierbei handelt es sich beispielsweise um die Vertriebsabteilung, die von Kunden Anfragen nach bestimmten Produkten erhält und diese dann an die Entwicklungsabteilung weitergibt. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, dass einige Anforderungen nicht initial erfasst und bei der Entwicklung daher nicht beachtet werden. Dies kann in späteren Phasen der Produktentwicklung oder des Produktlebens auffallen und ist dementsprechend aufwändig und kostenintensiv bei der Beseitigung.

Ungeachtet der Art des Kunden erfährt man während dieser Klärungsphase die Anforderungen des Kunden, um damit ein Lastenheft zu erstellen. Diese Anforderungen werden aufgenommen und einer ersten technischen Prüfung unterzogen, um die Machbarkeit zu ermitteln. Oftmals müssen diese Anforderungen spezifiziert werden, um später den Erfüllungsgrad beurteilen zu können.

Initialanforderungen

Die Initialanforderungen sind bestimmte Anforderungen die nötig sind, um mit der Entwicklung zu beginnen. Sie legen außerdem die grundlegendsten Sachen fest, die sich während der Entwicklung nicht mehr ändern sollten. Diese Anforderungen sollten das wesentliche Konzept, eine grobe Produktgliederung und Hauptgestalt der Entwicklung festhalten. In späteren Phasen der Produktentwicklung werden diese Dinge weiter ausgearbeitet, erste Grundsätze werden aber schon jetzt festgelegt.

Grundlegendes Konzept

Für die Art der in dieser Arbeit betrachteten Fahrbahnmarkiermaschine ist das grundlegende Konzept wie folgt:

Auf einem elektrisch angetriebenen Chassis ist die Markiertechnik montiert und bildet so die Fahrbahnmarkiermaschine (siehe Abbildung 6).

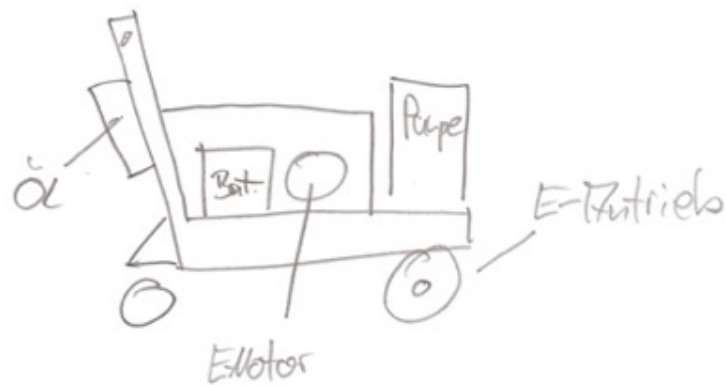


Abbildung 6: Initiale Konzeptskizze

Grundlegende Produktgliederung

Für die Art der in dieser Arbeit betrachteten Markiermaschine bietet es sich an, eine Baugruppe für das fahrende Chassis zu erstellen und dieses konstruktiv so zu gestalten, dass verschiedene Baugruppen mit der Markiertechnik darauf montiert werden können. Diese zwei Hauptbaugruppen beinhalten weitere Baugruppen und Teile.

Die Grundmaschinenbaugruppe soll den Antrieb, den Hauptrahmen, die Energiequelle und einen Teil der benötigten Elektrik beinhalten.

Die Baugruppe der Markiertechnik beinhaltet alles, was für die jeweils gewünschte Art der Markierung benötigt wird. Dazu an späterer Stelle mehr.

Hauptgestalt

Ein Vorteil der kleineren Fahrbahnmarkiermaschinen ist der unkomplizierte und einfache Transport. Dies ist vor allem dadurch möglich, dass diese Maschinen mit handelsüblichen Transportfahrzeugen und Anhängern befördert werden können. Der Platzbedarf der Maschinen sollte also den Maßen dieser Transportmöglichkeiten genügen und falls nicht, mit wenigen Handgriffen und Arbeitsschritten erreicht werden können.

Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen können in zwei Kategorien eingeteilt werden. Es gibt unternehmensinterne und -externe Rahmenbedingungen. Unternehmensinterne Rahmenbedingungen sind beispielsweise Einschränkungen bei Fertigungsmöglichkeiten. Sind bestimmte Maschinen nicht vorhanden, kann über eine Fremdvergabe der Teile, was zu längeren Lieferzeiten und Mehraufwand für die

Qualitätssicherung führt, nachgedacht werden oder man ist bei der konstruktiven Gestaltung eingeschränkt. Unternehmensexterne Rahmenbedingungen können Gesetze sein, an die man sich halten muss. Diese Unterteilung kann bei der Priorisierung helfen. In diese zwei Kategorien werden die folgenden Rahmenbedingungen unterteilt:

- Unternehmensinterne Rahmenbedingungen
 - Stückzahl
 - Fertigungstechnologien
 - Vorhandene Technik

- Unternehmensexterne Rahmenbedingungen
 - Gesetze
 - Normen
 - Materialpreise
 - Aktuelle Marktbedingungen, Marktlücken füllen
 - Strategische Bedeutung, Erster am Markt

Diese Rahmenbedingungen werden an verschiedenen Stellen dieser Arbeit berücksichtigt.

Die unternehmensinternen Rahmenbedingungen haben einen Einfluss auf die konstruktive Gestaltung der Maschine. Kleinmarkiermaschinen eignen sich für bestimmte Aufgaben besser als Großmaschinen, werden aber in vergleichbar geringer Stückzahl benötigt. Darum wird anfänglich auf eine betriebsinterne Fertigung gesetzt. Eine Fremdvergabe von z.B. Schweißbaugruppen kann zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt neu beurteilt werden.

2.2.2.2 Initiale Anforderungsliste

Abbildung 7 zeigt die initiale Anforderungsliste. Sie enthält die Anforderungen die nach ersten Gesprächen mit den wichtigsten Anforderungsquellen festgehalten wurden. Diese Liste ist in keinsten Weise vollständig, beinhaltet jedoch die wichtigsten Anforderungen des Kunden an das Produkt. Diese Liste dient als Grundlage für die folgenden Kapitel dieser Arbeit.

ID	Anforderung	Wert [Einheit]	F/W	Quelle
1	intern			
1.1	2 Komponentenmarkierung aufbringen		F	EP
1.2	Bedienung durch eine Person		F	EP
1.3	Elektrisch angetrieben		F	EP
1.4	Bekannte Handhabung		W	EP
1.5	Wartungsarm		F	EP
1.6	modularer Aufbau		W	Entw.
2	extern			
2.1	Einhaltung gültiger Normen & Gesetze		F	GG
2.2	Laufzeit 8 h		W	Kunde
3	Funktionsanforderungen			
3.1	niedriger Geräuschpegel bei Nutzung		F	Kunde / GG
3.2	Wetterunabhängige Nutzung		F	Kunde
3.3	Selbstfahrend		F	
3.4	umweltfreundlich		F	

Abbildung 7: Initiale Anforderungsliste nach der ersten Stufe

2.2.3 Methodisches Ergänzen der Anforderungsliste

Nachdem die Initialanforderungen, Konzept, Produktgliederung und die Hauptgestalt des Produkts festgelegt wurden, kann mit der zweiten Stufe der Ausarbeitung begonnen werden. Die initiale Anforderungsliste wird systematisch ergänzt. Während dieses Arbeitsschrittes können verschiedene Methoden genutzt werden, um die Liste der Anforderungen auf diese Weise zu komplettieren. Dieses Vorgehen verringert spätere Änderungen. Eine Auswahl der in der Praxis gängigen Methoden wird für die Ausarbeitung der Anforderungsliste genutzt und im Folgenden beschrieben:

Hauptmerkmaliste

Eine Hauptmerkmaliste ist in mehrere Bereiche unterteilt ([Feldhusen et al. 2013] S.330]). Diese Bereiche sind, wie auf Abbildung 8 zu sehen in die Bereiche Konzept, Produktlebensphasen und Organisation aufgeteilt. Der Konzeptbereich sollte für die Entwicklung eines neuen Produkts als erstes genauer betrachtet werden. Wechselwirkungen mit den anderen Bereichen sind trotzdem möglich. Das Vorgehen beim Arbeiten mit einer Hauptmerkmaliste ist simpel. Das sukzessive Durchgehen der aufgelisteten Punkte hilft dabei, die bisher nicht bedachten Anforderungen zu ermitteln. Die in Abbildung 8 gezeigte Hauptmerkmaliste wird genutzt, um die Anforderungsliste zu erweitern, der Fokus liegt dabei auf dem Konzeptbereich.

Es wurde sich für die Nutzung dieser Methode entschieden um die Maschine möglichst komplett zu betrachten und die Hauptmerkmale zu diskutieren. Nicht alle Punkte, die bei der Nutzung der Hauptmerkmaliste aufgefallen sind, führen zu neuen Anforderungen. Sie können auch an anderer Stelle Einfluss auf die Entwicklung haben, z.B. Bei der Aufteilung in Baugruppen, bei der Auswahl der Funktionsträger oder während der Detailentwicklung.

Stoff

- Vorratsbehälter für Betriebsstoffe vorsehen

Energie

- Bereitgestellte Leistung der Batterie, Nutzdauer
- Energie sparen durch „Eco-Modus“
- Druckfestigkeit der Komponenten
- Thermisches Verhalten der Batterie
- Kühlung der Inverter, Montageoberfläche

Signal

- User-Interface (MMI)
- Überwachung der Motoren

- Überwachung der Batterie

Geometrie

- Länge x Breite x Höhe
- Transport der Maschine mittels Transporter oder Anhänger

Mechanik

- Sollte bei Verladung das zulässige Gesamtgewicht von Transporter oder PKW-Anhänger nicht überschreiten
- Höchstgeschwindigkeit der Maschine -> Schritttempo
- Aktives Bremsen
- Zugänglichkeit der Bauteile zur Wartung
- Lösen der Bremse auch ohne Spannung

Elektrik/Elektronik

- Kleinspannungsbereich ≤ 120 VDC

Software

- Schnittstellen für Update der Software vorsehen

Sicherheit

- Betriebssicherheit: Totmannschalter

Ergonomie

- Anpassbare Bedienelemente

Konzept		Produktlebensphasen	
Stoff <ul style="list-style-type: none"> – Ein- und Ausgangsprodukte: <ul style="list-style-type: none"> + chemische Eigenschaften + physikalische Eigenschaften – Hilfsstoffe – vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.) – Materialfluss und -transport 	Elektrik / Elektronik <ul style="list-style-type: none"> – Nennspannung – Nennströme – Netzschwankungen – Sicherung – Schirmung – Filterung – EMV – Anschluss – Verdrahtung – Isolation – Luft-/Kriechstrecken – Stecker – Modulordnung – Funktionsgruppen – SMD-Bauteile – Bauteilverfügbarkeit – Zugänglichkeit – Austausch 	Einkauf <ul style="list-style-type: none"> – Make-or-Buy-Strategie – A-Lieferanten – Local-Content – Katalogbaugruppen – operativer / strategischer Einkauf – Datenaustausch 	Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> – Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung – Inspektion – Austausch und Instandsetzung – Reinigung – Schmierung – Einsatzort
Energie <ul style="list-style-type: none"> – Leistung – Verlust – Wirkungsgrad – Zustandsgrößen: <ul style="list-style-type: none"> + Druck + Temperatur – Erwärmung – Kühlung – Anschlussenergie – Speicherung – Arbeitsaufnahme – Energieumformung 	Software <ul style="list-style-type: none"> – Integration – Schnittstellen – Updates – Hardware – Testbarkeit – Notbetrieb 	Fertigung <ul style="list-style-type: none"> – Einschränkung durch Produktionsstätte – größte herstellbare Abmessung – bevorzugtes Fertigungsverfahren – Fertigungsmittel – mögliche Qualität und Toleranzen 	Recycling <ul style="list-style-type: none"> – Wiederverwendung – Entsorgung – Endlagerung – Beseitigung – Schad- und Gefahrstoffe – recyclingkritische Stoffe – Zugänglichkeit – Lösbarkeit
Signal <ul style="list-style-type: none"> – Ein- und Ausgangssignale – Anzeigeart – Betriebsgeräte – Überwachungsgeräte – Signalform 	Sicherheit <ul style="list-style-type: none"> – Unmittelbare Sicherheitstechnik – Mittelbare Sicherheitstechnik – Hinweisende Sicherheitstechnik – Betriebssicherheit – Arbeitssicherheit – Umweltsicherheit – Gefährdungspotential – Grenzkrisiko – Risikobewertung 	Kontrolle <ul style="list-style-type: none"> – Mess- und Prüfmöglichkeit – besondere Vorschriften (z. B. TÜV, DIN, ISO) 	Transport <ul style="list-style-type: none"> – Begrenzung durch Hebezeuge – Bahnprofil – Transportwege nach Größe und Gewicht – Versandart und -bedingungen – Lieferzeit
Geometrie <ul style="list-style-type: none"> – Abmaße / Dimensionen – Durchmesser – Bauraum – Anzahl – Anordnung – Anschluss – Erweiterung 	Ergonomie <ul style="list-style-type: none"> – Mensch-Maschine-Beziehung – Anzeige und Bedienelemente: <ul style="list-style-type: none"> + Bedienung + Bedienungsart + Übersichtlichkeit + Beleuchtung – Anthropometrische Maße – Bedienkräfte – Taktile Kodierung – Haptik 	Montage <ul style="list-style-type: none"> – besondere Montagevorschriften – Zusammenbau – Einbau – Baustellenmontage – Fundamentierung – Werkzeuge – Hilfsstoffe – Sicherheitsdatenblätter 	Gebrauch <ul style="list-style-type: none"> – Geräuscharm – Verschleißrate – Anwendung und Absatzgebiet – Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen, ...) – Feuchtigkeit – Dienstleistung
Mechanik <ul style="list-style-type: none"> – Gewicht – Last – Kräfte: <ul style="list-style-type: none"> + statisch + dynamisch – Reibung – Wärmespannung – Stabilität – Festigkeit: <ul style="list-style-type: none"> + Verformung + Steifigkeit – Kinematik: <ul style="list-style-type: none"> + Bewegungsart und -richtung + Beschleunigung + Geschwindigkeit – Kinetik: <ul style="list-style-type: none"> + Federeigenschaften + Resonanzen 	Industrial Design <ul style="list-style-type: none"> – Bedeutung – Ästhetische Funktionen – Anzeichenfunktionen – Symbolfunktionen – Produktwiedererkennungswert – Farbgebung – Sinus-Milieu 	Organisation	
		Planung <ul style="list-style-type: none"> – max. zulässige Herstellkosten – Werkzeugkosten – Investition – Amortisation – Ende der Entwicklung – Liefertermin – Netzplan für Zwischenschritte – Pönalen – Unternehmens-Know-how 	Nachhaltigkeit <ul style="list-style-type: none"> – Öko-Bilanz – Energieeffizienz – Systemkosten
		Markt <ul style="list-style-type: none"> – Wettbewerber – Kundensegmente – Kundenverhalten und -bedürfnisse – marktüblicher Standard – Verkaufszahlen – Trends 	

Abbildung 8: Hauptmerkmalliste ([Feldhusen et al. 2013] S.331)

Szenariotechnik

Die Szenariotechnik ist eine weitere Methode, die bei der Ausarbeitung der Anforderungsliste genutzt werden kann. Bei der Ausarbeitung dieser Anforderungsliste wird die Szenariotechnik jedoch nicht genutzt. Beim Anwenden dieser Methode wird das gesamte Produktleben, begonnen bei der Produktion bis hin zur Entsorgung, inklusive Wechselwirkungen mit Anwender und Umgebung durchdacht. Das Anwenden dieser Methode würde, richtig angewandt, den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Darum wird für interessierte Leser darauf hingewiesen, dass es die Methode gibt, die Anwendung aber eine eigene Arbeit füllen würde.

Das perspektivenbasierte Lesen

Eine Quelle für Anforderungen sind Dokumente. Diese aus verschiedenen Perspektiven zu lesen, liefert unterschiedliche Ergebnisse (vgl. [Pohl 2008]). Sich bei der Lektüre der Dokumente in die unterschiedlichen Stakeholder zu versetzen und bei dem Lesen der Dokumente für diese Gruppe unwichtige Informationen auszuklammern, hilft für andere Informationen sensibler zu sein und diese besser aus den Dokumenten zu ermitteln. Da ein Hersteller für alle Bereiche ihres Produkts verantwortlich, sind empfiehlt sich die Nutzung dieser Methode. Neben den technischen Anforderungen können mit dieser Methode auch Anforderungen anderer Art identifiziert werden.

Für das Erweitern der Anforderungsliste wurde folgendes Dokument genutzt. Die aus diesen Unterlagen recherchierten Anforderungen sind als Unterpunkte der Quelle zugeordnet:

- DIN EN 500 Bewegliche Straßenbaumaschinen -Sicherheit- ([DIN 2010])
 - Totmannschaltung
 - Max. Geschwindigkeiten für mitgängergeführte Maschinen:
 - Vorwärts 6 km/h
 - Rückwärts 2,5 km/h
 - Nullstellung für Fahrhebel
 - Verringern des Lärmpegels
 - Vorbeugen gegen Gefährdungen:
 - Quetschen bzw. Klemmen
 - Vermeiden von scharfen Kanten
 - Berührungsschutz bei elektrischer Anlage

Prototypenbetrachtung

Die Untersuchung des Prototyps und die Nutzung dessen durch einen Entwicklungspartner war bei der weiteren Ausarbeitung der Anforderungsliste und der Konzepte von großem Nutzen. Die Nutzung der Maschine in der täglichen Praxis hat beim Antrieb, Aggregat, Elektrik und bei der Programmierung der Steuerung Mängel aufgezeigt, die vorher nicht bedacht wurden oder nicht erkennbar waren. Diese neuen Anforderungen werden in die Entwicklung mit einbezogen. Dieses Vorgehen wird auch in zukünftigen Iterationsschleifen neue Erkenntnisse bringen, die bei der Weiterentwicklung des Produkts helfen werden (siehe Abbildung 3). Folgende Punkte wurden beobachtet und in die Anforderungsliste aufgenommen oder an anderer Stelle bei der Ausarbeitung des Konzepts berücksichtigt:

Antrieb:

- Verhalten beim Richtungswechsel zu dynamisch, Verletzungsgefahr
 - Beschleunigungsrampen des Antriebs an Bewegungsverhalten anpassen
- Magnetbremse des Antriebs ohne Energiequelle nicht zu lösen, Maschine kann nicht fortbewegt werden
 - Manuelle Bremsentlüftung
- Maschine konnte nach Abziehen des Totmannschalters weitergeschoben werden. Bei Nutzung der Maschine auf Fahrbahnen oder Flächen mit Steigung oder Gefälle kann dieses Maschinenverhalten zu Gefahrensituationen führen.
 - Anpassung der Parametrierung des Antriebsinverters
- Streckenmessung mit gelieferter Software des Antriebsinverters nicht möglich
 - Streckenmessfunktion

Aggregat:

- Keilriemen nach 40 Stunden verschlissen
- Aggregatmotor schaltet nach ca. einer Stunde aufgrund von Wärmeentwicklung ab
 - Konstruktive Änderung der Anordnung der Komponenten
 - Nutzung von Wärmeleitpaste
- Geräuschentwicklung des Kompressors unerwartet hoch
 - Tauschen des Luftfilters des Erstausrüsters

Elektrik:

- Motorinverter erkennt Fehlverhalten im Leistungsteil der Elektrik. Relais unterbrechen Stromkreise nicht.
 - Qualitativ hochwertigere Leistungsrelais einbauen

Software:

- Zu kleine Darstellung von Warnungen und Fehlermeldungen im Mensch-Maschine-Interface (MMI) der Maschine

Detaillierungsmethode

Um im späteren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses prüfen zu können, ob Anforderungen gemäß der Anforderungsliste und des Lastenheftes erfüllt sind, müssen diese Anforderungen so formuliert werden, dass sie messbar oder bewertbar sind.

Die Detaillierungsmethode wird genutzt, um aus den teilweise unklaren Formulierungen und unspezifischen Anforderungen klar formulierte und später prüfbare Anforderungen zu formulieren. Die unklaren Anforderungen der ersten und zweiten Stufe werden in zwei Transformationsschritten, Vertiefung und Präzisierung, in konkreten Anforderungen formuliert (vgl. [Kramer 1997]).

- **ID 1.1: Zweikomponentenmarkierung aufbringen**
 - Farbpumpe
 - Pumpenleistung
 - Farbbehälter für Farbkomponenten vorsehen
 - Füllmengen
 - Nicht rostender Behälter
 - Druckluft für Zerstäubung der Farbe bereitstellen
 - Luftmenge
- **ID 1.2: Bedienung durch eine Person**
 - Erreichbarkeit und Sichtbarkeit der zur Nutzung benötigten Schnittstellen und Bedienelemente
 - Anordnung von Bedienelementen im Cockpit oder am Lenker, Betätigung der Bedienelemente muss während der Nutzung gewährleistet sein
- **ID 1.3: Elektrisch angetrieben**
 - E-Motore als Antriebsquelle
 - Leistung der Motore
- **ID 1.4: Bekannte Handhabung**
 - Umgewöhnung für Kunden so gering wie möglich gestalten
 - Bewährte Menüführungen und Abläufe nutzen
 - Neuerungen in bestehende Abläufe einbinden

- **ID 1.5: Wartungsarm**
 - Intervalle für Wartung so lang wie möglich
 - Riementriebe nach Herstellervorgaben
 - Dichtungen
 - Düsen
 - Entwässerung des Druckluftbehälters
 - Zu wartende Komponenten einfach zugänglich machen
 - Verkleidungsbleche einfach zu entfernen
 - Arbeitsschritte leicht erlernbar machen
 - Einweisung durch Mitarbeiter
 - Kapitel für Wartung mit bebildeter Beschreibung der Arbeitsschritte in Bedienungsanleitung
 - Kennzeichnungen an Maschine anbringen
- **ID 1.6: Modularer Aufbau**
 - Zusammenstellung der Maschine für verschiedene Anwendungen ermöglichen
 - Aufbau in funktionsbezogenen Baugruppen
- **ID 2.2: Laufzeit 8 Stunden**
 - Batteriekapazität
 - Um den durchgehenden Betrieb mit nur einer Batterie zu gewährleisten, würde diese den vorhandenen Bauraum überschreiten und das Gesamtgewicht erheblich steigen. Daher wird eine Batterie genutzt mit der die Maschine, je nach Nutzung, 60-90 Minuten betrieben werden kann. Der Nutzer kann entladene Batterien gegen eine vollgeladene Batterie austauschen und den Betrieb wieder aufnehmen.
 - Wechselbatteriesystem
- **ID 3.1: Niedriger Geräuschpegel**
 - Erlaubten Lärmpegel nicht überschreiten
 - Dezibel-Grenze einhalten ≤ 85 dB
- **ID 3.2: Wetterunabhängige Nutzung**
 - Witterungsbedingungen beeinträchtigen die Nutzung der Maschine nicht
 - Elektrik konstruktiv vor Feuchtigkeit und Staub schützen
 - Bei Komponentenauswahl auf Schutzklasse achten min. IP55
 - Bei Komponentenauswahl auf Nutzungsbedingungen achten

Anforderungen priorisieren

Die Anforderungen, die explizit als Forderung und nicht als Wunsch eingeteilt sind, werden verschieden priorisiert. Normen und Gesetzesanforderungen und die Hauptfunktionen der Maschine werden höher priorisiert als zum Beispiel Komfortfunktionen. Sollte eine dreistufige Einteilung in hoch, mittel und niedriger Priorität nicht ausreichen kann auf eine numerische Einteilung von bspw. 1-10 genutzt werden. Die Einteilung der meisten Anforderungen erfolgt größtenteils in Absprache mit den Stakeholdern.

2.2.4 Ergänzte Anforderungsliste

Vergleicht man die initial erstellte Anforderungsliste (siehe Abbildung 7) mit der ergänzten Anforderungsliste (siehe Abbildung 9) wird der Mehrwert der genutzten Methoden deutlich. Die Liste ist wesentlich spezifischer, aussagekräftiger und belastbarer geworden. Die teilweise unspezifischen Initialanforderungen wurden einzeln betrachtet, spezifiziert und wenn möglich, quantifiziert. Um der Fehlinterpretation durch verschiedene Leser vorzubeugen, wurde die rein informelle Beschreibung der Anforderungen mittels des syntaktischen Satzbaumusters ([VDA 2003]) umgeschrieben. In den meisten Fällen ergaben sich bei genauerer Betrachtung weitere Anforderungen. Diese zusätzlichen Anforderungen wurden den jeweiligen Anforderungs-IDs als Unterpunkte zugeordnet.

Um die Entwicklung voranzubringen und knappe Ressourcen zu schonen ist das Setzen von Meilensteinen hilfreich, dies ist eine Methode des Projektmanagements. Diese Methode legt Zeiträume für bestimmte Aufgaben fest. Man hat bspw. einen bestimmten Zeitraum für das Ausarbeiten der Anforderungsliste festgelegt. Dies und andere Umstände führen dazu, dass Anforderungslisten niemals vollständig sind. Sie wachsen und ändern sich teilweise während des gesamten Produktlebens. Die Verwaltung dieser Änderungen bedarf besonderer Sorgfalt. Die Information der Änderung muss allen Beteiligten mitgeteilt und zugänglich gemacht werden. Die Nachvollziehbarkeit und der Grund der Änderung zu einem späteren Zeitpunkt bedürfen sauberer und konsequenter Dokumentation.

Projekt: H9-e			Datum: 10.05.23		
Zuständig: T.Nodop			Version: 1.0		
ID	Anforderung	Wert [Einheit]	F/W	Prio.	Quelle
1	intern				
1.1	Die Maschine muss 2K-Kaltspritzplastik auf Verkehrsbereiche aufbringen können		F	hoch	EP
1.1.1	Das System muss über eine Zweikomponentenpumpe verfügen		F	hoch	Entw.
1.1.2	Das System muss über Materialbehälter für die benötigten Farbkomponenten verfügen		F	hoch	Entw.
1.1.3	Das System muss Hydraulikdruck und Druckluft erzeugen können		F	hoch	Entw.
1.2	Die Maschine soll von einer Person genutzt werden können		F	hoch	EP
1.2.1	Betätigung der Bedienelemente muss während der Nutzung gewährleistet sein		F	hoch	EP
1.3	Die Maschine soll elektrisch angetrieben werden		F	hoch	EP
1.3.1	Die Maschine soll über einen elektrischen Fahrtrieb verfügen		F	hoch	Entw.
1.3.2	Der Bediener muss die Beschleunigung der Maschine bewältigen können			hoch	Entw.
1.3.3	Die Maschine soll nicht kabelgebunden sein		F	hoch	EP/Entw.
1.3.4	Das Aggregat der Maschine soll elektrisch angetrieben werden		F	hoch	Entw.
1.4	Die Bedienung der Maschine soll an das Produktportfolio angeglichen werden		W	mittel	EP
1.4.1	Das System soll über einen Spülmitteltank verfügen		F	hoch	Entw.
1.5	Die Maschine soll wartungsarm sein		F	mittel	EP
1.5.1	Die Wartungsintervalle sollen möglichst lang sein	1 Jahr	F	mittel	EP/Entw.
1.5.2	Die Bauteile müssen zugänglich sein		F	mittel	Entw.
1.5.3	Die Bedienungsanleitung soll ein Wartungskapitel mit bebildeter Beschreibung der Arbeitsschritte beinhalten		F	mittel	Entw.
1.5.4	An den zu wartenden Bauteilen sollen Kennzeichnungen angebracht werden		F	niedrig	Entw.
1.6	Die Maschine soll modular aufgebaut werden		W	hoch	Entw.
1.6.1	Die Module sollen funktionsbezogen sein		W	niedrig	Entw.
1.7	Streckenmessfunktion		F	hoch	Entw.
2	extern				
2.1	Einhaltung gültiger Normen & Gesetze		F	hoch	Entw.
2.1.1	Totmannschalter		F	hoch	GG
2.1.2	Klein Spannungsbereich	≤ 120 VDC	F	hoch	Entw.
2.2	Laufzeit 8 h (ca. 4 KW * 8h)	32 kWh	W	hoch	Kunde
2.2.1	Wechselbatterie			niedrig	EP

3	Funktionsanforderungen				
3.1	niedriger Geräuschpegel bei Nutzung	≤ 85 dB	F	mittel	Kunde / GG
3.2	Wetterunabhängige Nutzung		F	mittel	Kunde
3.2.1	Schutzklasse der Komponenten	IP 55	F	mittel	Entw.
3.2.2	Betriebsbedingungen bei Auswahl der Komponenten beachten		F	mittel	Entw.
3.2.3	Elektrische Bauteile vor Umwelteinflüssen konstruktiv schützen		F	mittel	Entw.
3.3	Selbstfahrend		F	hoch	Entw.
3.3.1	siehe Anforderung ID 1.3.1				Entw.

Abbildung 9: Ergänzte Anforderungsliste (GG: Gesetzgeber; EP: Entwicklungspartner)

2.3 Konzepterstellung

Ziel der Erstellung von Konzepten ist die für die Erfüllung der Hauptfunktion genutzten Funktionsträger und Bauteile anzuordnen und so ein mögliche Hauptgestalt der Maschine zu entwickeln. Da die nachfolgenden Arbeitsschritte maßgeblich sind und schließlich zur Fertigung des Produkts führen sollen ist dieser Arbeitsschritt von besonderer Bedeutung und muss dementsprechend sorgfältig ausgeführt werden.

Nach dem Erstellen und Freigeben der Anforderungsliste wird damit begonnen Konzepte auszuarbeiten. Dazu muss die Hauptfunktion klar definiert sein. In manchen Fällen ist es notwendig zu abstrahieren und zu kondensieren, um die Hauptfunktion möglichst neutral und einfach zu beschreiben. Die Hauptfunktion, manchmal auch als Zweck oder Gesamtfunktion bezeichnet, des hier betrachteten Produkts, in diesem Fall die Fahrbahnmaschine, wird unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen, möglichst neutral beschrieben, um nicht von vornherein bei der Auswahl der Lösungen eingeschränkt zu sein. In der frühen Konzeptphase ist es gängig mehrere Konzepte zu erstellen und diese zu diskutieren und ggf. ungeeignete Konzepte auszuschließen bevor mit der weiteren Ausarbeitung begonnen wird.

Die Hauptfunktion einer Fahrbahnmarkiermaschine ist das Aufbringen von Markierungen. Da es verschiedene Arten von Markierungen gibt wird hier differenziert und die Hauptfunktion gemäß den Anforderungen **ID 1.1** und **1.3** formuliert:

- Aufbringen von Zweikomponenten-Kaltspritzplastikmarkierungen auf asphaltierte oder gepflasterte Untergründe unter Nutzung rein elektrischer Antriebe

Die Erstellung der Funktionsstruktur dieser Hauptanforderung ist der nächste Schritt auf dem Weg zur Produktstruktur. Zusammen bilden sie die Produktarchitektur.

2.3.1 Funktionsstruktur

Die Funktionsstruktur beschreibt ein Produkt auf funktionaler Ebene. Eine komplexe Funktion oder Aufgabe wird in weniger komplexe Teilfunktionen zerlegt und in Zusammenhang gebracht. So entsteht eine Abfolge von Funktionen und Ereignissen, die erfüllt werden müssen, um die Hauptfunktion zu erfüllen. Dieses Vorgehen kann bis zu den elementarsten Teilfunktionen ausgearbeitet werden. Wie fein eine Aufgabe granuliert wird und noch sinnvoll für die Lösungssuche ist, hängt von der Komplexität der Aufgabe ab. Die Zusammenhänge der Teilfunktionen werden aufgezeigt und vereinfachen so die Lösungssuche.

Mechatronische Systeme werden in den meisten Fällen von einer zentralen Steuerung überwacht und gesteuert, die betrachtete Markiermaschine verfügt auch über eine solche Zentralsteuerung. Diese Steuerungen sammeln Informationen von Sensoren oder über Bedienelemente vom Bediener (siehe Abbildung 10). Diese Informationen können von der Steuerung verarbeitet und anschließend dementsprechend Aktoren angesteuert und Rückmeldung an den Bediener über eine Anzeige ausgegeben werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit über z.B. Bus-Kommunikationsschnittstellen mit anderen Bauteilen und Steuerungen zu kommunizieren und Informationen auszutauschen. Systeme mit dezentralen Steuerungen zu erweitern kann die Lösungssuche vereinfachen und Aufwand bei der Fertigung ersparen, vor Allem wenn Modularität gewünscht ist.

Die zentrale Funktion der Steuerung macht sie zu einer Komponente, die beim Aufstellen der Funktions- und Produktstruktur zwar mit mehreren Bauteilen in Wechselwirkung steht, jedoch physisch nur einer Baugruppe zugeordnet werden kann.

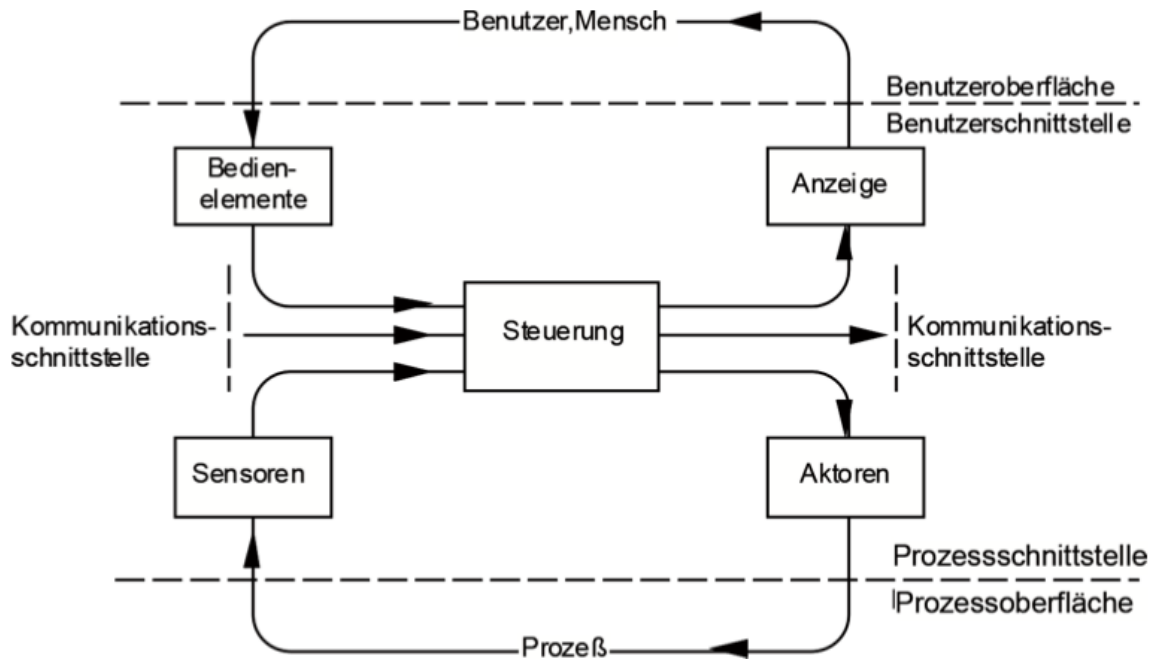


Abbildung 10: Informationsverarbeitung einer zentralen Steuerung

2.3.1.1 Black-Box

Eine Black-Box ist ein abstraktes Systemmodell in dem das zu entwickelnde Produkt oder System durch eine schwarze Box, der „Black-Box“, dargestellt wird. Dieser Box werden Eingangsgrößen zugeführt und aus dieser Box kommen Ausgangsgrößen heraus. Diese Größen sind Signale, Energien und Stoffe. Zusätzlich können äußere Einflüsse in Form von Störgrößen und Restriktionen mit in ein Black-Box Modell aufgenommen werden. Durch die Abstraktheit dieser Modelle ist die höchstmögliche Lösungsneutralität gegeben, da in diesem Modell nicht auf die Funktion der Box eingegangen wird. Ein solches Modell dient der Veranschaulichung und Visualisierung der Systemgrenze und der zu lösenden Aufgabe bzw. dem zu entwickelnden System. Indem man nur die dem System zugeführten und vom System abgegebenen Größen betrachtet, ist man bei der Lösungssuche unvoreingenommen.

Abbildung 11 zeigt das Black-Box Modell für die Straßenmarkiermaschine. In ihm sind mögliche Störgrößen und Restriktionen angegeben. Diese sollten bei der Ausarbeitung in den kommenden Arbeitsschritten beachtet werden. Das System verarbeitet die Eingangsstoffe 1-3 zur Markierung, Ausgangsstoff 1. Eingangssignale von Bedienelementen werden von dem System genutzt, um Vorgänge zu steuern. An dieser Stelle wird allgemein von Signalen gesprochen, die genaue Beschreibung, Nutzung und Verarbeitung der Signale und wie das System auf die verschiedenen Signale reagiert, wird zu einem späteren Zeitpunkt in der Entwicklung genauer

betrachtet. Ein Teil der durch die Signale ausgelösten Änderungen des Systemzustands wird auf einem Display bzw. Mensch-Maschine-Interface (MMI) dargestellt, dies wäre eine Ausgangsgröße. Die dritte Art der Eingangsgröße ist die dem System zugeführte elektrische Energie, die von dem System in Drehmoment gewandelt wird, das für den Vortrieb genutzt wird. Wie schon erwähnt sind Lösungsansätze nicht Teil dieses Modells, die Beschreibung der Black-Box wird im Folgenden mit der Funktionsstruktur vorgenommen werden.

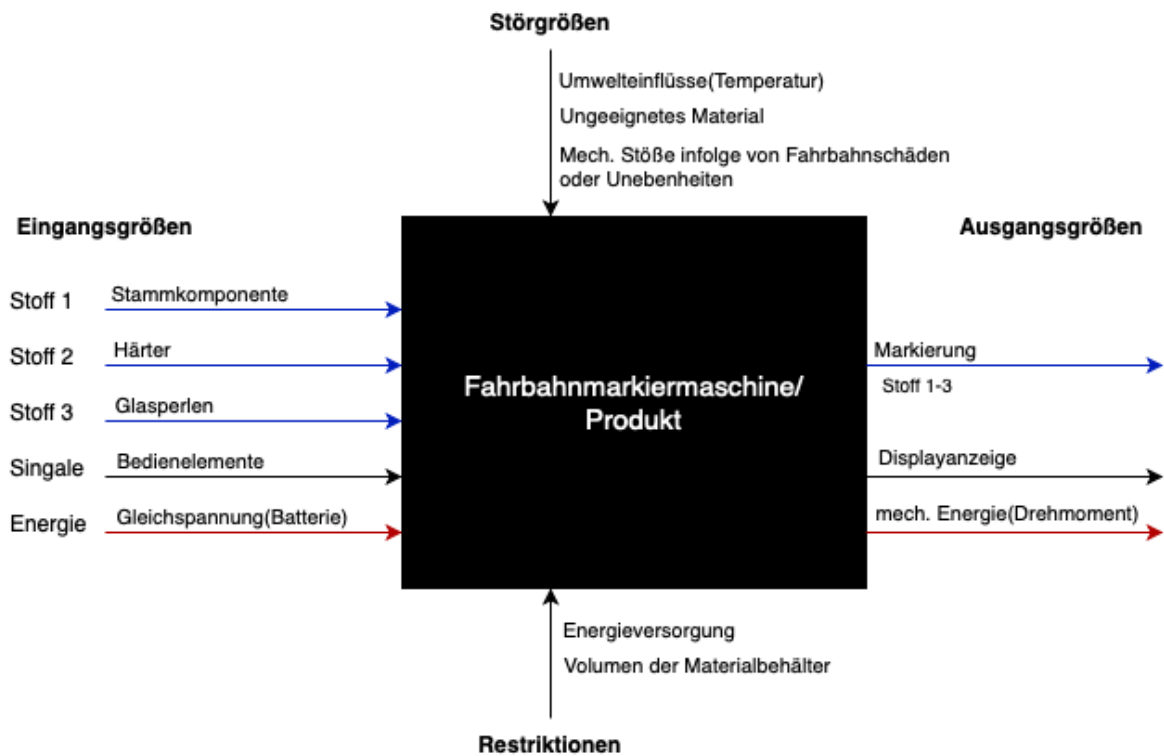


Abbildung 11: Black-Box Modell der Markiermaschine

Die Funktionsstruktur ist eine detaillierte funktionale Produktbeschreibung. Bezogen auf das Black-Box Modell in Abbildung 11 beschreibt sie das Verhalten der Black-Box. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Funktionsstrukturen aufzustellen. Eine Möglichkeit ist die Darstellung der Ein- und Ausgangsgrößen als Flussstrukturen. Gerade für Stoffe und Energien bietet sich diese Methode an. Bezieht man Signale in solche Modelle ein, können diese sehr umfangreich und komplex werden. Sie beschreiben das System somit dementsprechend detailliert.

Die Hauptfunktion wird in zweckmäßige Teilfunktionen aufgeteilt und bildet so die Funktion des Gesamtsystems ab. Die einzelnen Teilfunktionen erfüllen zusammen also die Hauptfunktion. Der Vorteil dieser Aufteilung liegt darin, dass ein komplexes

Problem oder eine komplexe Funktion aufgeteilt wird und die Lösungen der Teile einfacher werden. Je nach Komplexitätsgrad der Hauptfunktion werden Teilfunktionen ggf. wieder unterteilt. Dieses Vorgehen wird so lange betrieben bis die Teilfunktionen oder Probleme beherrschbar werden.

Die bei mechatronischen Systemen interdisziplinären Teilfunktionen werden den dafür zuständigen Abteilungen oder Mitarbeitern zugewiesen und bearbeitet. Dieses Vorgehen ermöglicht paralleles Bearbeiten der Teilaufgaben und erfordert gute Kommunikation bei der Bearbeitung. Auch wenn die Hauptfunktion in Teilfunktionen aufgeteilt wurde, besteht die Möglichkeit, dass für diese ein ähnlicher Arbeitsablauf wie für das gesamte Produkt sinnvoll ist. Sind die Teilfunktionen noch immer von einer erhöhten Komplexität, ist dieses Vorgehen für die jeweilige Abteilung oder Person im kleineren Rahmen empfehlenswert. Ob der Aufwand den Nutzen rechtfertigt, wird von den Bearbeitenden beurteilt.

Abbildung 12 zeigt beispielhaft eine Produktarchitektur, die sich aus Funktionsstruktur und Produktstruktur zusammensetzt. Außerdem ist zu sehen, dass die Teilfunktionen der Funktionsstruktur Komponenten, den Funktionsträgern, der Produktstruktur zugeordnet sind. Diese sind wiederum in Baugruppen zusammengefasst, die dem grundlegenden Konzept aus Kapitel 2.2.2.1 gleichen sollten. Mit der sukzessiven Bearbeitung der Teilfunktionen wird die Gestalt der Maschine also immer konkreter. Die Funktionsstruktur in die Produktstruktur zu überführen ist der letzte Arbeitsschritt, um die Produktarchitektur aufzustellen.

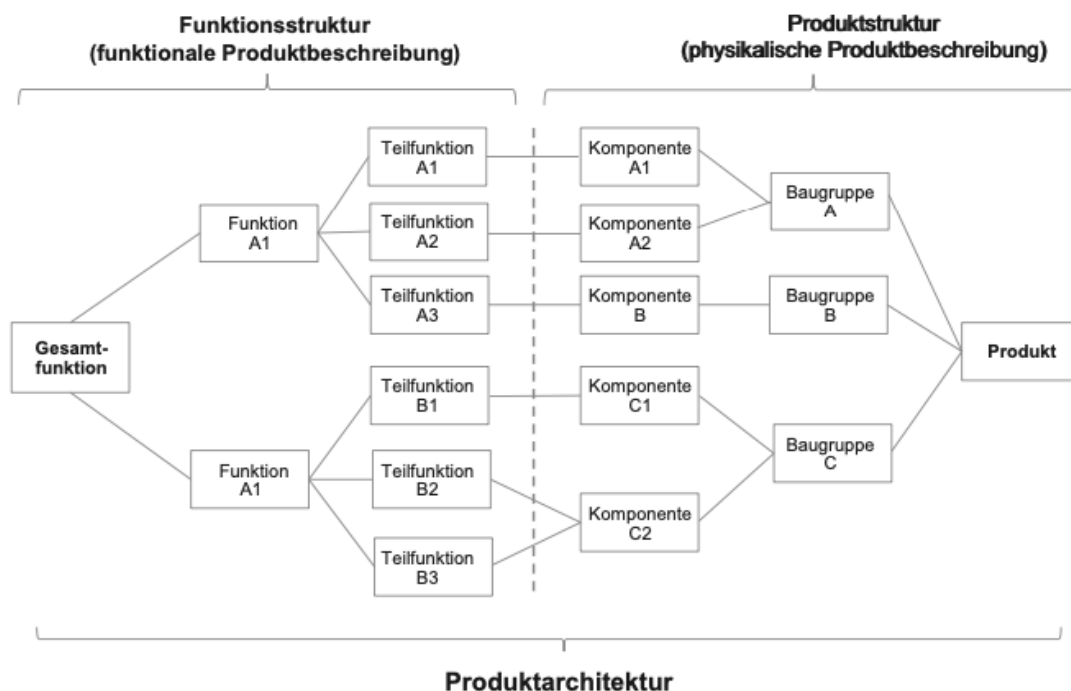


Abbildung 12: Beispiel einer Produktarchitektur ([Erlenspiel et al. 2017] S.504)

2.3.2 Aufstellen der Funktionsstruktur

Um die Funktionsstruktur aufzustellen, wird die Hauptfunktion in Teilfunktionen aufgeteilt, da dies die Bearbeitung vereinfacht. Eine übersichtliche graphische Darstellung, wie in Abbildung 12 zu sehen ist, stellt die Verbindungen der Teilfunktionen dar. An der Ausführung einer Funktion können mehrere Funktionsträger beteiligt sein. Die Verbindungen der Funktionen und je mehr Ebenen die Aufteilung der Teilfunktionen der Funktionsstruktur hat desto mehr empfiehlt es sich, eine solche Übersicht zu nutzen. Die Teilfunktionen sind die zu bearbeitenden Teilaufgaben. Diese werden für die Fahrbahnmarkiermaschine im Folgenden aufgestellt.

Die Hauptfunktion ist das Aufbringen von Markierungen. Fahrbahnmarkierungen müssen qualitativen Anforderungen genügen. Diese wurden bei der Ausarbeitung der Anforderungsliste bedacht und auch beim Aufstellen der Funktionsstruktur werden diese berücksichtigt.

Die Hauptfunktion wird in drei größere Teilfunktionen, mit den Bezeichnungen **A: Markierung**, **B: Antrieb** und **C: Steuerung**, aufgeteilt. Das Vergeben von Bezeichnungen hilft bei der eindeutigen Identifikation der Teilfunktionen und bei der späteren Überführung in die Produktstruktur.

Arbeitsweise der Maschine:

Zum besseren Verständnis und zur Nachvollziehbarkeit der Funktion und Arbeitsweise dieser Maschinenart wird diese im Folgenden erläutert:

Der Bediener läuft hinter der Maschine her, lenkt diese entlang der zu markierenden Strecke und startet, stoppt und überwacht den Markiervorgang. Die Markierpistole ist entweder links oder rechts an der Maschine befestigt, die Montage erfolgt gemäß Kundenwunsch. In den meisten Fällen wird die Markiertechnik auf der rechten Seite der Maschinen montiert und genutzt. Bei Markierungen, die mit der betrachteten Fahrbahnmarkiermaschine aufgebracht werden, sind neben dem fehlerfreien Betrieb der Komponenten die Einstellungen an der Maschine von besonderer Bedeutung.

Die für die Zweikomponentenmarkierung benötigten Materialien werden in separaten Materialbehältern bereitgestellt und müssen bei geringem Füllstand von Hand aufgefüllt werden. Damit die Markierungen auch im Dunkeln zu sehen sind werden in die frische Markierung Glasperlen eingebettet. Diese reflektieren das Scheinwerferlicht und gewährleisten, dass die Fahrbahnmarkierung auch im Dunkeln zu sehen ist. Die dafür genutzten Glasperlen werden in einem zusätzlichen Behälter an der Maschine mitgeführt und bei Bedarf in die Markierung eingebettet.

Die Maschine soll über einen elektrischen Antrieb verfügen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Vorderräder der Maschine angetrieben werden sollten und die Lenkung über eine Lenkrolle am hinteren Ende der Maschine ausgeführt werden sollte. Dies ermöglicht ein Rangieren auf engem Raum wie man es von Gabelstaplern kennt. Für Kleinmarkiermaschinen ist dieses Verhalten von Vorteil.

Die Breite der applizierten Markierung hängt vom Abstand der Markierpistole zum Untergrund und von der genutzten Farbauslassdüse ab. Der Markt bietet unterschiedlichste Ausführungen solcher Düsen an. Gängig sind Düsen mit einem Spritzfächer von 50-70°. Je weiter die Pistole vom Untergrund entfernt ist desto breiter wird die Markierung. In der Praxis wird der Abstand bei Arbeitsbeginn einmal eingestellt, geprüft und erst wenn eine andere Strichbreite benötigt wird, verändert. Die Schichtdicke der Markierung wird über die Geschwindigkeit der Maschine beeinflusst. Je langsamer die Maschine fährt desto höher die Schichtstärke. Bei höherer Geschwindigkeit nimmt die Schichtstärke dementsprechend ab. Geschwindigkeit und Schichtstärke verhalten sich also umgekehrt proportional. Eine Tempomat Funktion unterstützt den Bediener dabei die Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten und so eine gleichmäßige Markierung aufzubringen. Wegeabhängige Pumpensysteme für Kleinmarkiermaschinen sind angedacht, derzeit jedoch noch nicht verfügbar.

A: Zweikomponentenkaltspritzmarkierung applizieren

Erläuterung - Zweikomponentenkaltspritzmarkierung

Eine Zweikomponenten-Kaltspritzplastikmarkierung besteht aus zwei verschiedenen Stoffen, der sogenannten Stammkomponente, im Folgenden als **K1** bezeichnet und dem Härter, im Folgenden **K2** genannt. Die Stammkomponente sollte, nachdem sie längere Zeit gestanden, hat aufgerührt werden, um eine homogene Markierung zu erhalten. Die Stoffe müssen nicht erhitzt werden, um sie zu verarbeiten. Ab Außentemperaturen von ca. 5°C können Markierungen dieser Art auf trockene Untergründe appliziert werden. Sie müssen in ein Verhältnis von ca. 98:2 vermischt werden und beginnen, sobald sie miteinander in Kontakt kommen, zu reagieren und auszuhärten. Abhängig von der Umgebungstemperatur ist die Markierung nach 30-60 Minuten ausgehärtet. Wird das Mischungsverhältnis nicht eingehalten wird die aufgebrauchte Markierung nicht den Anforderungen entsprechen. Wird in die Stammkomponente nicht genügend Härter eingebracht, härtet die Markierung nicht aus und muss nachbehandelt oder entfernt werden. Ist zu viel Härter in die Stammkomponente eingemischt worden, kommt es zu gelblichen Verfärbungen der Markierung. Beiden Problemen kann mit sorgfältiger Vorbereitung und Pflege der Markiertechnik vorgebeugt werden. In die frisch applizierte Markierung können Glasperlen eingebettet werden, um Scheinwerferlicht zu reflektieren. Die zum Einbringen der Perlen genutzte Perlpistole ist räumlich kurz hinter der Farbpistole an der Maschine montiert. Ist das Einbringen von Glasperlen gewünscht, wird die Perlpistole beim Auslösen der Markierung mit geöffnet und die Glasperlen in die Markierung eingebettet.

Zur Veranschaulichung ist die Funktion der Applizierung in Abbildung 13 in einem Stoffflussdiagramm dargestellt.

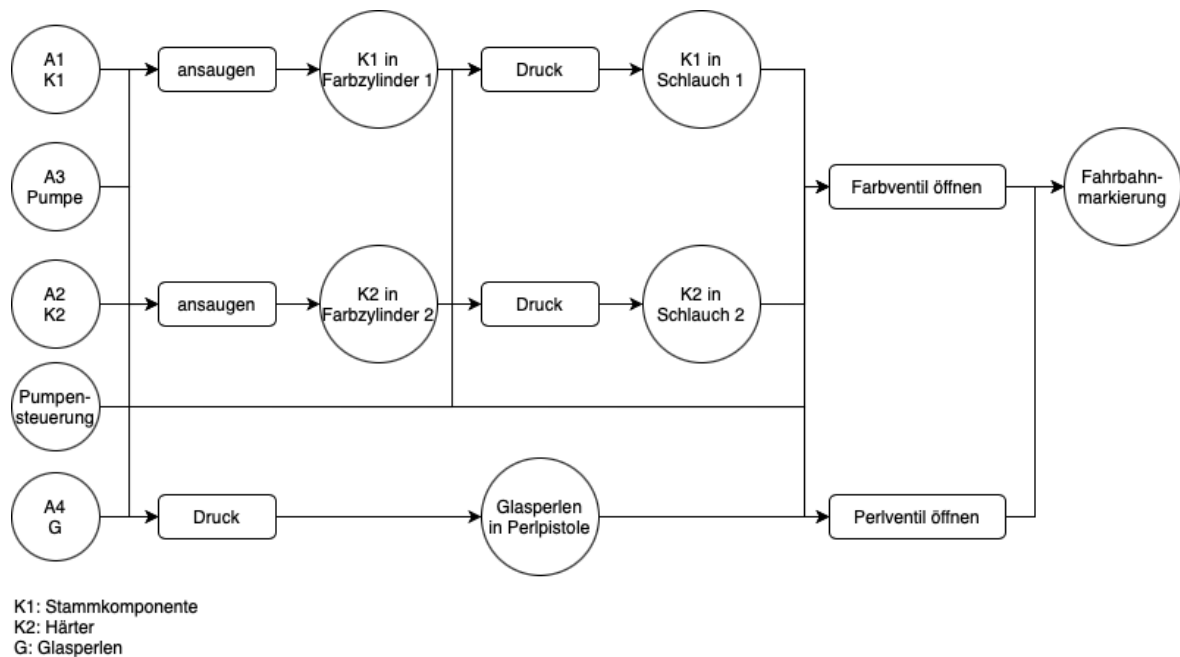


Abbildung 13: Stoffflussstruktur der zur Markierung genutzten Komponenten

- **A1** - Stammkomponente bereitstellen: Gemäß der Anforderungsliste **ID 1.1.2**, Bereitstellen der Stammkomponente der Zweikomponentenmarkierung. Die Stammkomponente sollte einen möglichst großen Behälter erhalten, um Unterbrechungen der Arbeit zu verringern.
- **A2** - Härter bereitstellen: Bereitstellen des Härters (**ID 1.1.2**), der zweiten Komponente der Zweikomponentenmarkierung. Der Vorratsbehälter dieser Komponente sollte dem Mischungsverhältnis von ca. 98:2 angepasst werden.
- **A3** - Pumpentechnik: Die Pumpentechnik muss die zwei Komponenten dosiert vermischen und auf den Untergrund aufbringen (**ID 1.1.1**)
- **A4** - Gasperlen bereitstellen: Vorratsbehälter für Gasperlen
- **A5** - Gasperlen auftragen: Einbringen der Gasperlen in die Markierung
- **A6** - Hydraulikdruck bereitstellen (**ID 1.1.3**)
- **A7** - Druckluft bereitstellen (**ID 1.1.3**)

Um die gewünschte Markierung zu applizieren, werden über die Maschinensteuerung Markierparameter eingestellt. Es werden die Länge der Striche, die Länge der Lücken eingestellt und ob beim Auslösen der Markierung mit einer Lücke oder einem Stich begonnen werden soll. Der Markiervorgang wird über einen Taster gestartet und beendet. Das Öffnen und Schließen der Markierpistole ist unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit der Maschine. Die Maschinensteuerung nutzt die eingestellten Markierparameter in Verbindung mit einer Streckenmessfunktion. Anhand der

Informationen der Streckenmessfunktion kennt die Steuerung die zurückgelegte Strecke und kann die Markierpistole, gemäß den vorgenommenen Einstellungen, öffnen oder schließen und so den Markiervorgang steuern.

B: Maschine antreiben

Der Fahrtrieb beinhaltet folgende Teilfunktionen:

- **B1** – Drehmoment erzeugen: Erzeugen von Drehmoment zum Vortrieb der Maschine
- **B2** – Spannung wandeln: Wandeln der Versorgungsspannung zur Nutzung des Elektromotors
- **B3** – Elektromotor steuern: Motor gemäß der vom Bediener geforderten Fahrgeschwindigkeit steuern
- **B4** – Energieversorgung: Bereitstellen von Gleichstrom (DC) gemäß Anforderung **ID 2.1.2.**
- **B5** – Aufnahme der Komponenten: Bauteil oder Baugruppe die zur Aufnahme weiterer Komponenten dient. Die Hauptgestalt der Maschine wird von diesem Bauteil maßgeblich vorgegeben

Erläuterung: Würde man für die Antriebsfunktion ein Black-Box-Modell erstellen, wären elektrische Energie und Signale, wie z.B. die gewünschte Drehzahl oder Drehmoment, die Eingangsgrößen und ein Drehmoment und Signale, wie z.B. aktuelle Drehzahl oder Stromaufnahme, wären Ausgangsgrößen. Der Antrieb der Maschine muss ein Drehmoment erzeugen (**B1**), das für den Vortrieb der Maschine sorgt. Gemäß der Anforderung **ID 1.3.1** wird diese Funktion ein Elektromotor übernehmen. Elektromotore, die in der Elektromobilität verwendet werden, sind in der Regel Dreiphasen-Wechselstrom-Motore. Diese Technik wurde bei dem Prototypen genutzt und hat die Funktion zufriedenstellend erfüllt. Die Versorgung eines Elektromotors aus einer Gleichspannungsquelle (**B4**) ist mit der Nutzung eines Inverters verbunden. Diese Inverter übernehmen die Aufgabe, die bereitgestellte Gleichspannung (DC-Voltage) in Dreiphasen-Wechselspannung (AC-Voltage) zu wandeln (**B2**) und diese zur Regelung des Motors zu nutzen (**B3**). Zusätzlich kommuniziert er mit der Zentralsteuerung der Maschine.

Das erzeugte Drehmoment sorgt in Verbindung mit der Reibkraft zwischen den Rädern und dem Untergrund für den Vortrieb der Maschine. Da der Fahrtrieb der Maschine mit der Nutzung von Rädern verbunden ist und die Maschine auf diesen stehen wird, ist es funktionsgemäß sinnvoll, die Komponenten auf einem Hauptrahmen anzuordnen (**B5**).

C: Steuern des Maschinenbetriebs

Die Steuerung der Maschine ist die zentrale Funktion beim Betrieb der Maschine. Die Zentralsteuerung der Maschine ist der Teil der Maschine von dem aus alles gesteuert und überwacht wird. Die für die Steuerung der Maschine genutzte Hardware kombiniert ein Display mit integrierten Tasten und eine programmierbare Steuerung mit Kommunikationsschnittstellen und analogen sowie digitalen Ein- und Ausgängen. Signale, die über analoge und digitale Eingänge aufgenommen werden, nutzt die Steuerung für verschiedenste Funktionen und visualisiert sie teilweise. Die Elektromotore verfügen jeweils über einen eigenen Inverter und die Pumpentechnik über eine eigene Steuerung, die mit der Zentralsteuerung kommunizieren (**C3**). Die Zentralsteuerung ist in diesem Aufbau die übergeordnete Instanz, da sie die Auswertung der gesammelten Informationen übernimmt, diese ggf. an den Bediener ausgibt und die Befehle für den Maschinenbetrieb über sie an die anderen Komponenten weitergegeben werden (**C2**). Die Visualisierung und Menüführung (**C1**) auf dem Display wird gemäß der Anforderung **ID 1.4** gestaltet und programmiert. Abbildung 10 stellt die Steuerung als Schnittstelle vom Bediener zur Funktion dar. Abbildung 14 zeigt den Informationsaustausch der Zentralsteuerung. Die vom Bediener über Bedienelemente weitergegebenen Signale werden von der Steuerung verarbeitet und diese steuert daraufhin Aktoren an.

Sie wird in mehrere Teilfunktionen aufgeteilt:

- **C1**- Visualisierung: Menüführung, Darstellen der Maschineninformationen wie Drehzahlen, Drücke, Fahrmodi, Fehler- und Error-Codes und Art der Markierung
- **C2** – Eingabebefehle und Signale verarbeiten und Ausführen
- **C3** – Kommunikation mit anderen Komponenten

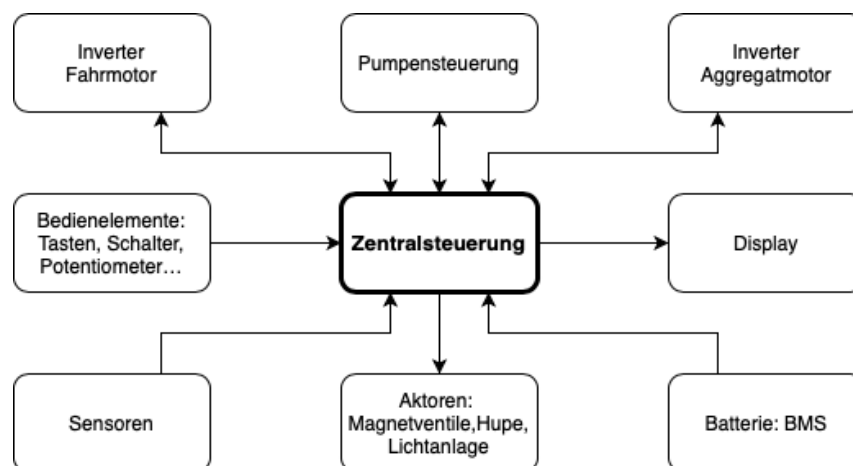


Abbildung 14: Informationsaustausch der Zentralsteuerung

Zur Elektrik: Die Elektrik ist die Daten- und Leistungsinfrastruktur der Maschine. Damit Signale von Bauteil A zu Bauteil B gelangen bedarf es einer Verbindung. Im Falle der Markiermaschine werden diese über Datenleitungen übertragen. Die Leitungslängen zwischen den Bauteilen beträgt weniger als 3 m. Aus diesem Grund wird auf eine Übertragung der Daten z.B. per Funkt verzichtet. Alle Verbraucher müssen zur Versorgung mit der Spannungsquelle verbunden werden. Die von den Motoren benötigte Leistung wird über dementsprechende Leitungen zugeführt. Die Ausarbeitung der Elektrischen Anlage bei einem Mechatronischen Produkt wie der Markiermaschine ist aufgrund der Komplexität nicht zu unterschätzen. Oft entsteht im Vorherein der Eindruck, dass „nur“ ein paar Kabel verlegt werden müssen, um die Funktion zu gewährleisten. Die steigende Zahl von dezentralen Steuerungen, Sensoren und Aktoren lassen den zeitlichen Aufwand, der für die Planung, Ausführung und Dokumentation benötigt wird, wachsen. Bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sollte besonderes Augenmerk auf der Elektroanlage liegen.

Die Herangehensweise an die Ausarbeitung der Elektroanlage unterscheidet sich im Vergleich zu einem rein Mechanischen Bauteil in einigen Punkten. Der generelle Aufbau der Elektrik ähnelt der der Zentralsteuerung (siehe Abbildung 14). Ausgehend von einem Zentralen Verteilerkasten werden zu allen elektrischen Bauteilen dementsprechende Leitungen verlegt. Alle Leitungen werden in diesem Schaltschrank funktionsgemäß miteinander verbunden. Zusätzlich müssen Sicherungen vorgesehen werden, ggf. Schaltungen entworfen werden, Leitungsquerschnitte berechnet, Buserminierungen vorgesehen und zusätzliche Bauteile mit einbezogen werden. Ist die Anlage ausgelegt und erprobt können Baugruppen erstellt werden. Diese Baugruppen können vorproduziert und beim Bau der Maschine die Montagezeit der Monteure verringern. Schaltschränke können bestückt und ggf. mit Bohrungen und Verschraubungen versehen werden, Leitungen können gebündelt verlegt und in Kabelbäumen zusammengefasst werden und bestenfalls an allen Enden mit Steckverbindungen versehen werden, um nur einige Möglichkeiten zu nennen.

Die Elektrik ist naturgemäß eng mit der Steuerungstechnik verbunden. Beide sollten von Anfang an am Entwicklungsprozess teilhaben, um zu vermeiden, dass um die mechanische Konstruktion herum gearbeitet werden muss. Je weiter die Entwicklung vorangeschritten ist desto höher ist der Aufwand der betrieben werden muss, um Funktionen nachträglich zu implementieren. Je vollständiger die Anforderungsliste ausgearbeitet wurde desto weniger unerwartete Ereignisse treten zu späteren Zeitpunkten auf und belasten den Zeitplan.

Auf die funktionale Ausarbeitung der Software (**C1**) sowie der Elektrik (**C2**) wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen, die Teilaufgaben sollen aber nicht unerwähnt bleiben, da sie elementare Bestandteile der Funktion der Maschine sind.

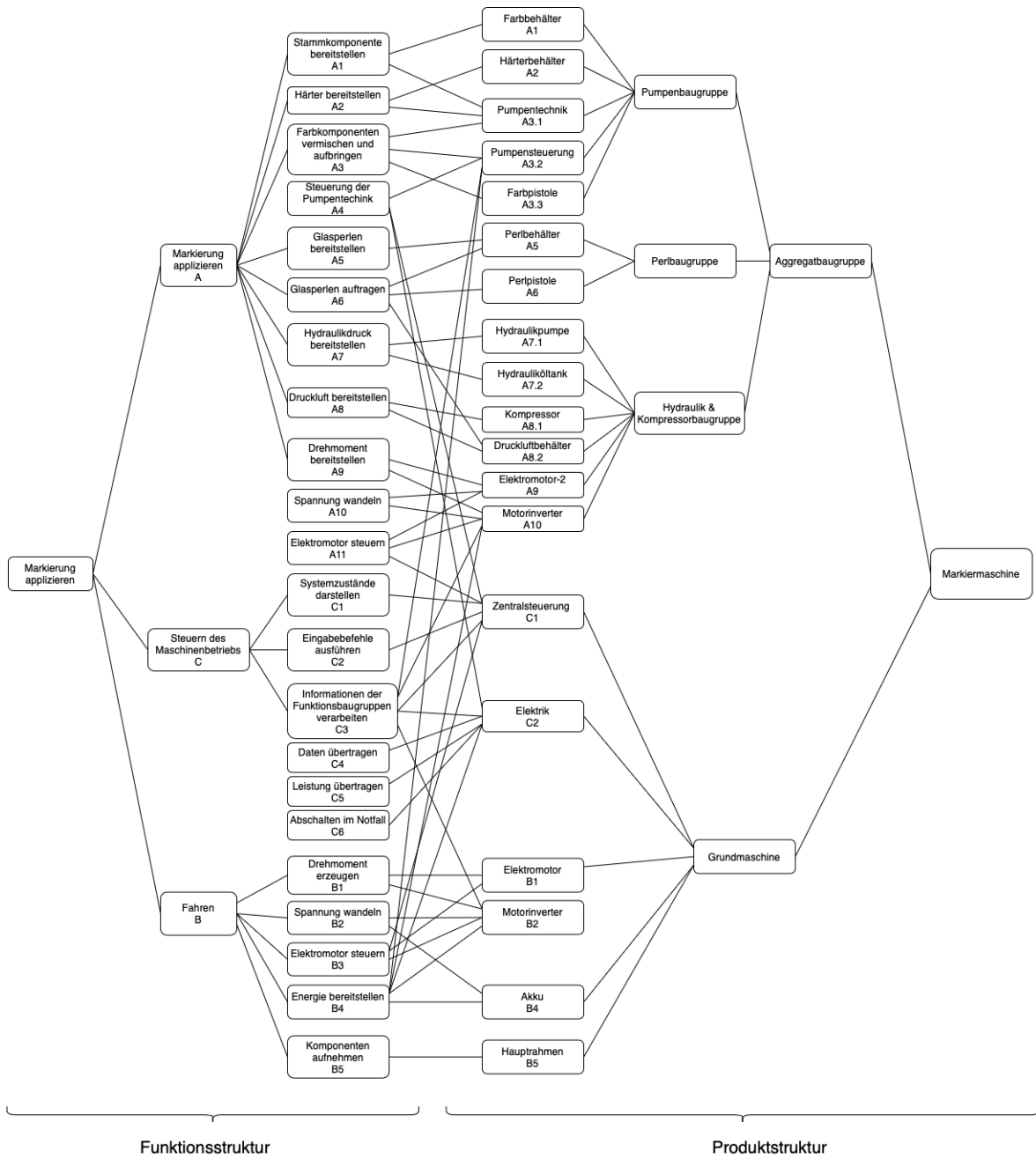


Abbildung 15: Produktarchitektur der Markiermaschine ([METUS 2014])

2.3.3 Produktarchitektur

Mit dem Überführen der Funktionsstruktur in die Produktstruktur ergibt sich die Produktarchitektur, sie wird gelegentlich auch als funktionelle Baustruktur bezeichnet. Sie beschreibt den physischen Aufbau eines Produkts und seinen Baugruppen. Die Funktionen der Funktionsstruktur werden bei Überführung in die Produktstruktur mit Bauteilen, den Funktionsträgern, in Verbindung gebracht. Es wird festgelegt, wie Funktionen erfüllt werden und mit welchen Bauteilen. Es ist möglich, dass Funktionen von mehr als einem Funktionsträger erfüllt werden und es ist möglich, dass ein Funktionsträger mehrere Funktionen erfüllt. Mit der von der Daimler Ag in Kooperation mit der Münchner Unternehmensberatung ID-Consult erarbeiteten **Methodischen Unterstützung zur Systembildung (METUS)** lassen sich funktionelle Abhängigkeiten wie auf Abbildung 15 gezeigt in einer METUS-Raute darstellen ([METUS 2014]). So ist z.B. zu sehen, dass die Zentralsteuerung **C1** mehrere Funktionen erfüllt. Sie verarbeitet Signale, stellt den Systemzustand dar und steuert den Betrieb der Maschine. Diese Abhängigkeiten sind kein Problem sie sind nötig, um die Hauptfunktion zu erfüllen. Soll die Produktarchitektur eine hohe Modularität besitzen und weniger von integraler Natur sein muss dies bei der Einteilung in Baugruppen bzw. Module beachtet werden. Ein Modul ist ein in sich geschlossenes Teilsystem, dass seine Funktion weitestgehend alleinstehend erfüllen kann. Es ist in den wenigsten Fällen möglich 100-prozentige Modularität zu erreichen, die meisten Module müssen über Schnittstellen mit anderen Modulen verbunden werden, um ihre Funktion zu erfüllen. Je weniger Schnittstellen zu anderen Systemen ein Modul hat umso höher ist der Grad der Modularität.

Eine modulare Produktarchitektur hat bezüglich der Produktion, Organisation und Entwicklung einige Vorteile. So spricht ([Erlenspiel et al. 2017] S.873) davon das es beim Variantenmanagement von Vorteil ist auf eine „Plattform“ aufzubauen. Diese Baugruppe ist ein unternehmensintern standardisiertes Modul das für unterschiedliche Produkte als Basis genutzt werden kann. Abbildung 16 verdeutlicht die Plattformstrategie. Auf Basis dieser Plattform können verschiedene Produktvarianten aufgebaut werden. Unterschiedliche Module werden auf der Plattform montiert und erhöhen so die Produktvielfalt. Im Idealfall wird eine Plattform über mehrere Produktgenerationen genutzt ([Krause 2018] S. 149). Diese Mehrfachverwendung der Baugruppe verringert Produktionskosten und vereinfacht zukünftige Entwicklungen. Produkte können auf diese Weise nach einem Modulbaukastenprinzip zusammengestellt und produziert werden. Durch die mögliche Variantenvielfalt wird das Produkt zusätzlich für einen größeren Kundenkreis interessant.

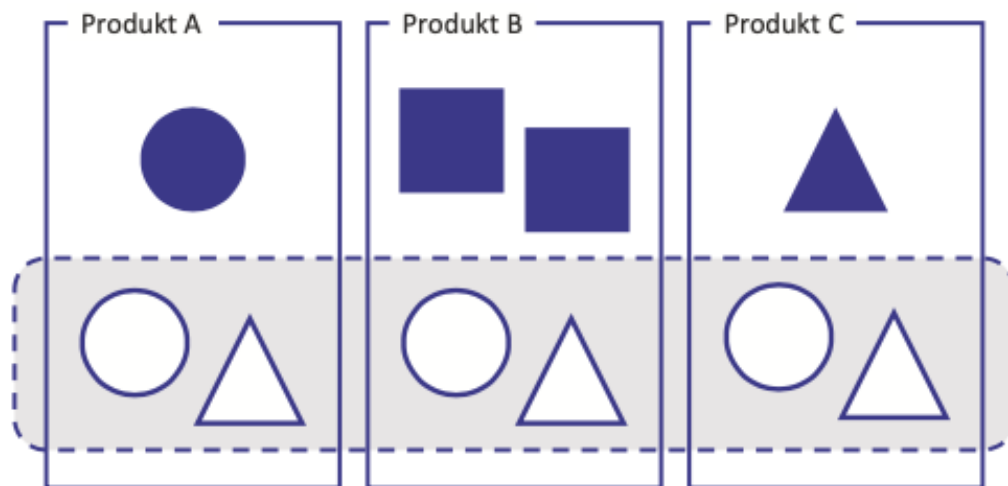


Abbildung 16: Prinzip einer Plattform ([Krause 2018] S.150)

2.3.4 Produktstruktur

Die Produktstruktur wird im Folgenden aufgestellt.

Grundmaschine

Die Grundmaschine besteht aus:

- Hauptrahmen **B5**
- Dem Antrieb bestehend aus: Elektromotor **B1** und Inverter **B2**
- Energiequelle **B4**
- Zentralsteuerung **C1**
- Elektrik **C2**

Die Grundmaschine ist, vereinfacht ausgedrückt, ein fahrender Rahmen, der über Schnittstellen und Anschlusspunkte für die verschiedenen Aggregatbaugruppen verfügt. Die Grundmaschine kann also in höherer Stückzahl vorproduziert werden und ggf. auf Lager gelegt werden. Bei der Zusammensetzung der Baugruppe wurde darauf geachtet, dass sie ein in sich geschlossenes Plattformmodul bildet. Die Position des Akkus ist nicht final. Bei der Montage könnte ein Behelfsrahmen montiert werden, der bei der Ausstattung mit der Markiertechnik entfernt wird. Bei Auftragseingang muss das Grundgerät nur noch mit der gewünschten Markiertechnik ausgestattet und getestet werden. Sind die unterschiedlichen Aggregatbaugruppen auch modular gestaltet können auch diese vorproduziert werden. Diese Art der Produktionsorganisation erhöht zwar die Lagerkosten verringert aber die Zeitspanne vom Auftragseingang bis zur Auslieferung der Maschine.

Aggregatbaugruppe

Die Aggregatbaugruppe, für die Applikation der Zweikomponentenmarkierung, besteht aus drei Unterbaugruppen, die jeweils für sich ein Modul bilden. Der Modularitätsgrad dieser Baugruppe ist niedrig. Sie hat Schnittstellen für die Energieversorgung der Steuerung, Datenaustausch, Druckluft, Hydraulik und Anschlüsse für die Versorgung mit den benötigten Markierstoffen. Zusätzlich gibt es Montagepunkte, um die Verbindung mit der Grundmaschine herzustellen.

Die Pumpenbaugruppe beinhaltet die folgenden Komponenten:

- Pumpentechnik **A3.1**
- Pumpensteuerung **A3.2**
- Farbpistole **A3.3**.
- Behälter für Stammkomponente **A1**
- Behälter für Härter **A2**

Perlbaugruppe

Die Perlbaugruppe ist ein simples Modul. Sie verfügt über Schnittstellen für Druckluft und ggf. ein Magnetventil.

Die Perlbaugruppe besteht aus:

- Perlbehälter **A5**
- Perlpistole **A6**

Hydraulik- und Kompressorbaugruppe

Bei der Hydraulik- und Kompressorbaugruppe ist der Grad der Modularität, in dieser Zusammenstellung, niedriger als bei den vorherigen Baugruppen. Abgesehen vom Motorinverter können die Bauteile z.B. auf einem Fundament zusammen montiert werden und ergeben so ein Modul mit Schnittstellen für Hydrauliköl, Druckluft, Elektrik und Montage. Der Motorinverter sollte, vor der Witterung geschützt, mit den anderen Komponenten der Elektrik verbaut werden. Dies könnte schon beim Bau der Grundmaschine geschehen. Dann müsste aber sichergestellt werden das dieser Inverter bei jeder Variante benötigt wird. Das abzusehen ist derzeit nicht möglich. Hier ist die funktionsbezogene Aufteilung der Baugruppen wahrscheinlich nicht die ideale Lösung wird aber für den Moment so vorgesehen.

Die Hydraulik- und Kompressorbaugruppe ist ein besteht aus:

- Hydraulikpumpe **A7.1**
- Hydrauliktank **A7.2**
- Druckluftkompressor **A8.1**

- Druckluftbehälter **A8.2**
- Elektromotor-2 **A9**
- Motorinverter **A10**

2.3.5 Mögliches Konzept

Mit den aufgestellten Strukturen und unter Einbeziehung der Anforderungen lassen sich nun konkretere Konzepte aufstellen. Abbildung 17 zeigt **ein** mögliches Konzept. Das gezeigte Konzept ist eine weiterentwickelte Version des auf Abbildung 6 gezeigten Konzepts. Die Grundmaschine dient als Plattform für die weiteren Baugruppen. Die Hydraulik- und Kompressorbaugruppe wird aufgrund des hohen Gewichts direkt auf den Hauptrahmen gesetzt. Ein zusätzlicher Tragrahmen dient zur Aufnahme des Akkus und könnte Platz für einen zweiten bieten. Durch Bleche lässt sich der Bauraum zu den rotierenden Teilen verschließen und gewährleistet so die nach **ID 2.1** geforderte Sicherheit. Die Aggregatbaugruppe wird am vorderen Ende der Maschine verbaut. So bleibt sie für die Wartung und zum Befüllen des Farbbehälters zugänglich. Die Elektrik (**C2**) wird im Hauptrahmen untergebracht und ist dort gegen Umwelteinflüsse geschützt. Durch ein demontierbares Blech oder eine Klappe wird der Zugang gewährleistet. Die Zentralsteuerung (**C1**) wird für den Nutzer bedien- und lesbar in den Hauptrahmen eingesetzt. Der Haupt- und Trägerrahmen kann mit Montagepunkten für die Perlbaugruppe versehen werden.

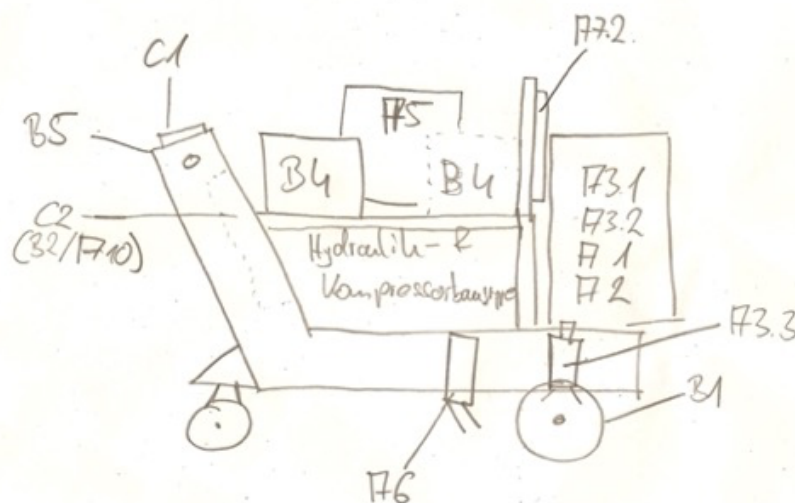


Abbildung 17: Konzept der Markiermaschine

3 Zusammenfassung und Ausblick

3.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit beinhaltet nur einen Teil des Produktentwicklungsprozesses. Die Entwicklung ist demnach noch nicht abgeschlossen und bedarf weiter Bearbeitung. Zu Beginn der Arbeit wurde die Aufgabe festgelegt ([siehe Kapitel 2.1](#)). Entwickeln einer Produktstruktur für eine Fahrbahnmarkiermaschine die:

- Elektrisch angetrieben wird
- Batterien bzw. Akkus als Energiequellen nutzt
- Zweikomponenten-Kaltspritzplastikmarkierungen applizieren kann
- Modular aufgebaut ist, um unterschiedliche Markiertechnik montieren zu können.

Nach dem Festlegen der Aufgabenstellung wurden die Anforderungen an das Produkt zusammengetragen. Dieser Arbeitsschritt wurde in zwei Stufen durchgeführt. Im ersten Schritt wurde eine initiale Anforderungsliste (siehe Abbildung 6) erstellt. Im zweiten Schritt wurden Methoden der Produktentwicklung genutzt, um diese Liste zu erweitern. Dafür wurden u.a. die Anforderungsquellen identifiziert und genutzt. Die gewonnenen Anforderungen wurden aufbereitet und in der Anforderungsliste zusammengefasst. Diese ergänzte Anforderungsliste (siehe Abbildung 9) diente bei den darauffolgenden Arbeitsschritten als Grundlage.

Der nächste Arbeitsschritt war das Aufstellen der Funktionsstruktur. Dafür musste die Hauptfunktion der Maschine formuliert werden (siehe Kapitel [2.3](#)):

- Aufbringen von Zweikomponenten-Kaltspritzplastikmarkierungen auf asphaltierte oder gepflasterte Untergründe unter Nutzung rein elektrischer Antriebe

Um diese zu erarbeiten, wurde die Maschine mittels eines Black -Box Modells (siehe Abbildung 11) beschrieben. Dieses Modell hilft dabei die Hauptaufgabe zu abstrahieren und zu betrachten, wie die Maschine mit ihrem Umfeld interagiert.

Die Hauptfunktion wurde anschließend in Teilfunktionen aufgeteilt. Die Teilfunktionen wurden ebenfalls wiederum unterteilt. Einige der Teilfunktionen der zweiten Ebene lassen sich noch weiter aufteilen, dies würde aber zu weit in die Detailentwicklung gehen und ist somit nicht Teil dieser Arbeit. Mit der aufgestellten Funktionsstruktur (siehe Abbildung 15) hat man eine Übersicht der zu erfüllenden Aufgaben. Jede Teilfunktion wirkt bei der Erfüllung der Hauptfunktion mit.

Die Funktionsstruktur wurde anschließend in eine Produktstruktur überführt. Beim Überführen in die Produktstruktur wurde festgelegt, welche Funktionsträger die Teilfunktionen erfüllen sollen. Eine Funktion kann von einem oder mehreren Funktionsträgern erfüllt werden. Mit dem Überführen der Funktions- in die

Produktstruktur beginnt die Ausarbeitung der physischen Gestalt der Maschine. Man legt fest, welche Bauteile bestimmte Funktionen übernehmen. Die einzelnen Funktionsträger wurden anschließend in Baugruppen zusammengefasst. Das Modul der Grundmaschinenbaugruppe dient als „Plattform“. Sie kann für zukünftige Produktvarianten als Basis dienen.

Anschließend wurde eine Produktstruktur aufgestellt. Das Ziel der Produktstruktur war, eine hohe Modularität zu erreichen. Die Grundmaschine hat im Vergleich mit den anderen Baugruppen eine hohe Modularität erreicht. Bei den übrigen Baugruppen ist Verbesserungspotential vorhanden.

Auf Grundlage der Produktstruktur wurde abschließend ein Konzept aufgestellt. Dieses Konzept ist **eine** Möglichkeit die Maschine zu gestalten. Das Konzept ist ein Ausblick auf die folgenden Arbeitsschritte. Die ideale Lösung zu finden ist Teil der Konzeption, die in dieser Arbeit nicht weiter behandelt wird.

3.2 Ausblick

Nachdem sich für ein Konzept entschieden wurde, kann mit der Detailentwicklung begonnen werden. Bei der Detailentwicklung wird die Funktion des jeweiligen Funktionsträgers betrachtet und überlegt wie diese für den vorliegenden Fall zu lösen ist. Die Funktion **Energie bereitstellen (B4)** soll z.B. von dem Funktionsträger **Akku (B4)** übernommen werden. Bei der Bearbeitung dieser Teilaufgabe muss die Anforderung **2.2 (Laufzeit 8h)** und deren Unterpunkte beachtet werden. Ob dieser Akku ein Kaufteil wird oder ob ein eigener Akku entwickelt wird, sind Fragen, die während dieses Entwicklungsschrittes zu klären sind. Die einzelnen Teilaufgaben können also noch viel Entwicklungszeit in Anspruch nehmen.

Ähnliches gilt für die übrigen Funktionsträger und Baugruppen. Sind schon teilweise nutzbare Module vorhanden, können diese angepasst und genutzt werden. Falls nicht, müssen ggf. Steuerungsprogramme programmiert werden, die elektrische Anlage geplant und mechanische Bauteile konstruiert werden. Sind diese Arbeiten erfolgt, kann die Maschine getestet werden. Diese Tests sollen u.a. zeigen, ob die Anforderungen erfüllt werden. Von den Ergebnissen dieser Tests ist anhängig, ob die Maschine in Serie gehen kann oder ein weiterer Entwicklungsdurchlauf begonnen wird.

Literaturverzeichnis

- [DIN 2010] *DIN EN 500-1 Bewegliche Straßenbaumaschinen -Sicherheit-*. Berlin: Beuth Verlag, Mai 2010
- [Erlenspiel et al. 2017] Erlenspiel, Klauns; Meerkamm, Harald:
Integrierte Produktentwicklung; 6. Auflage. München Wien: Carl Hanser Verlag 2017
E-Book-ISBN 978-3-446-44908-4
- [Feldhusen et al. 2013] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich
Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung; 8. Auflage. Springer Vieweg, 2013
E-Book-ISBN 978-3-642-29569-0
- [Krause 2018] Krause, Dieter; Gebhardt, Nicolas: *Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln*. Berlin: Springer Vieweg 2018
E-Book ISBN 978-3-662-53040-5
- [Kramer 1997] Kramer, F; Kramer, M: *Bausteine der Unternehmensführung. Kundenzufriedenheit und Unternehmenserfolg*. Berlin: Springer 1997
- [METUS 2014] METUS Software. [Online] 2014. URL: <http://www.id-consult.com/>
- [Pohl 2008] Pohl, K: *Requirement Engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2008
- [VDA 2003] Verband der Automobilindustrie: *VDA 2006: Geometrische Produktspezifikation. Oberflächenbeschaffenheit - Regeln und Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*. VDA-Verlag, 2003
- [VDI 2021] Verband Deutscher Ingenieure: *VDI/VDE 2206 Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme*. Berlin: Beuth Verlag, November 2021

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „— bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] — ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Nodop

Vorname: Torben

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung einer allgemeinen Produktstruktur für elektrisch angetriebene Straßenmarkiermaschinen

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorarbeit ist erfolgt durch:

Hamburg 20.05.2023

Ort

Datum

Unterschrift im Original